

KIVIHIIILIMURSKAIMEN SÄHKÖKÄYTÖN MODERNI- SOINNIN TARKASTELU

Tabell Eero

Opinnäytetyö
Tekniikan ja liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikan liikenteen ala
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Eero Tabell	Vuosi	2018
Ohjaaja	DI Jaakko Etto		
Toimeksiantaja	DI Pekka Myllymäki SSAB Europe Oy		
Työn nimi	Kivihiilimurskaimen sähkökäytön modernisoinnin tarkastelu		
Sivu- ja liitesivumäärä	52 + 20		

Opinnäytetyössä selvitettiin 2-kivihiilimurskaimen sähkökäytön modernisoinnin kannattavuutta. Modernisoinnissa nestekytkin korvattaisiin taajuusmuuttajalla. Työn tilaajana toimii SSAB Europan Raahan tehtaan koksaamo.

Modernisoinnin tavoitteena on saada murskaimen pyörimisnopeudensäätö tarkemmaksi ja energiatehokkaammaksi. Pyörimisnopeutta säädetään tällä hetkellä nestekytkimellä. Nestekytkin tuottaa toimiessaan lämpöä, joka menee hukkaan.

Työssä kartoitettiin tämän hetkisen kivihiilimurskaimen kunnossapito-, ja energiakustannukset. Huolto- ja kunnossapitokustannukset selvitettiin Arttu-toiminnanohjausjärjestelmästä. Energiakustannukset selvitettiin teho- ja lämpötilamittauksilla.

Tarjous taajuusmuuttajasta kysyttiin ABB:ltä ja Siemensiltä. Taajuusmuuttaja mitoitettiin moottorin tehon mukaan. Taajuusmuuttajan valintaan vaikuttivat taajuusmuuttajan hinta, kuorman momentti, huollettavuus ja varaosien saatavuus. Taajuusmuuttajaksi valittiin ABB:n tarjoama taajuusmuuttaja.

Nestekytkimen poistuessa murskaimen kierrosnopeuden säätötarkkuus paranee. Murskaimen kierrosnopeus vaikuttaa murskattavan hiilen raekokoon. Kannattavuustarkastelussa nestekytkimen vuotuiset kunnossapito ja energiakustannukset ovat tarkastelussa nettotuottoina. Investointikuluihin laskettiin kaikki investoinnin mukanaan tuomat kulut. Investoinnin takaisinmaksuajaksi tarkastelussa saatiin 2 vuotta ja 8 kuukautta.

Avainsanat

taajuusmuuttajat, koksaus, murskaimet, kannattavuus

Technology, Communication and Transport
Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Eero Tabell	Year	2018
Supervisor	Jaakko Etto, M.Sc.		
Commissioned by	Pekka Myllymäki, M.Sc. ,SSAB Europe Oy		
Subject of thesis	Modernization of Coal Crusher's Electric Drive		
Number of pages	52 + 20		

The subject of this thesis was to examine the updating and profitability of the coal crusher's elective drive. The update is carried out by replacing hydraulic coupling with a variable frequency drive. The study is made for SSAB Europe's factory in Raahe, Finland.

The aim for the update is to make the coal crusher's rotational speed control more accurate and energy efficient. The hydraulic coupling controls the rotational speed currently. The hydraulic coupling generates waste heat.

This thesis examines coal crusher's maintenance and energy costs. The service and maintenance costs are from SSAB's Arttu control system. The energy costs are measured from power and heat use.

Requests for quotations of the variable frequency drive were asked from ABB and Siemens. The variable frequency drive was chosen to fit the coal crusher's engine power. The matters that affected the choice: price, load moment, maintenance and availability of parts. The ABB's offer was chosen.

Coal crusher's rotational speed control improves by removing the hydraulic coupling. The Crusher's rotational speed affects the size of the coal crushed. The profitability calculation tells the hydraulic coupling's annual maintenance and energy costs as net income. The investment costs include all the costs that come with the investment. The time for the investment payback period is two years and eight months.

Key words

variable frequency drive, coking, crusher, profitability

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	YRITYKSEN ESITTELY	9
2.1	SSAB Oy.....	9
2.2	Raahen tehdas	10
2.3	Koksaamo.....	11
3	NYKYINEN KIVIHIILIMURSKAIN	14
3.1	Kojeisto ja sähkölähtö	14
3.2	6 kV:n sähkömoottori	15
3.3	Nestekytin	18
3.4	Alennusvaihteisto.....	19
3.5	Kivihiilimurskain	20
4	NYKYINEN AJOTAPA	21
4.1	Ajotapakuvauus	21
4.2	Energiankulutus	22
4.3	Kivihiilimurskaimen kunnossapito	27
5	TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTTÖ	29
5.1	Taajuusmuuttaja	29
5.2	Moottorin soveltuvuus taajuusmuuttajakäyttöön	31
5.3	Taajuusmuuttajan valinta	34
5.4	Taajuusmuuttajan suojaus ja parametointi	36
5.5	Huolto ja kunnossapito.....	38
6	TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖN VAATIMAT MUUTOSTYÖT.....	40
6.1	6 kV:n kaapelointi	40
6.2	Taajuusmuuttajan sijoitus ja asennus	40
6.3	Akselin murtosuoja	42
6.4	Taajuusmuuttajan liittäminen automaatioon.....	44
6.5	Sähkösuunnitelma	45
6.6	Varmennustarkastus	45
7	TAAJUUSMUUTTAJAN VAIHTOTYÖ	46
8	KANNATTAVUUSTARKASTELU	47

9 POHDINTA.....	48
LÄHTEET.....	50
LIITTEET	52

ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia työssäni mukana olleita henkilöitä, varsinkin työni ohjaaja Jaakko Ettoa työn ohjauksesta.

Raahessa 13.3.2018

Eero Tabell

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

gpm	gallon per minute (galloniaa minuutissa)
Nm ³	Normaalkuutiometri
I _N	Moottorin nimellisvirta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää 2-kivihiilimurskaimen sähkökäytön modernisoinnin kannattavuus. Modernisoinnissa nestekytin korvattaisiin taajuusmuuttajalla. Työn tilaajana toimii SSAB European Raahen tehtaan koksaamo.

Työssä kartoitetaan tämän hetkisen kivihiilimurskaimen huolto- kunnossapito-, ja energiakustannukset. Huolto ja kunnossapitokustannukset selvitetään Arttu-toiminnanohjausjärjestelmästä. Energiakustannukset selvitetään teho- ja lämpötilamittauksilla.

Kivihiilimurskaimen pyörimisnopeutta säädetään nestekytkimellä ja sähkömoottori pyörii koko ajan nimellisellä nopeudella, kuormituksesta riippuen. Nestekytin tuottaa toimiessaan lämpöä, joka poistetaan jäähdyttämällä. Modernisoinnin tavoitteena on saada murskaimen pyörimisnopeudensäätö tarkemmaksi ja energiatehokkaammaksi.

Työssä selvitetään sähkökäytön modernisoinnin vaatimat muutostyöt ja niiden kustannukset. Modernisoinnin investointikustannuksina ovat taajuusmuuttajan hankinta-, asennus- ja käyttöönottokustannukset. Kustannusten perusteella tehdään kannattavuustarkastelu.

2 YRITYKSEN ESITTELY

2.1 SSAB Oy

SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva teräsyhtiö, jonka tavoitteena on kehittää suorituskkykyisempiä ja kestävämpiä tuotteita (SSAB 2017d). SSAB on perustettu vuonna 1978. Yhtiö aloitti toiminnan nimellä Domnarvets Jernverk, vuonna 1878. (SSAB 2017b.)

SSAB:n päätuotantolaitokset sijaitsevat Ruotsissa (Oxelösundissa, Borlängessä ja Luleåssa), Suomessa (Raahessa ja Hämeenlinnassa) ja Yhdysvalloissa (Mobilessa ja Montpeliriessä). Tuotantolaitokset tuottavat vuosittain terästä 8,8 miljoonaa tonnia. Lisäksi käsittely- ja jatkojalostuslaitoksia sijaitsee Kiinassa, Brasiiliassa ja monissa muissa maissa. (SSAB 2017d.)

Yhtiön liiketoiminta jakaantuu viiteen divisioonaan, joissa on henkilöstöä yhteensä noin 15 000 ja toimintaa yli 50 maassa. Divisioonat ovat:

- SSAB Special Steels
 - Erikoislujat ja nuorrutusteräokset
- SSAB Europe
 - kvartto-, nauha- ja putkituotteet
- SSAB Americas
 - kvarttolevyt ja -kelat
- Tibnor
 - metallien ja teräksien jakelu pohjoismaissa
- Ruukki Construction
 - rakentamisen tuotteet. (SSAB 2017c.)

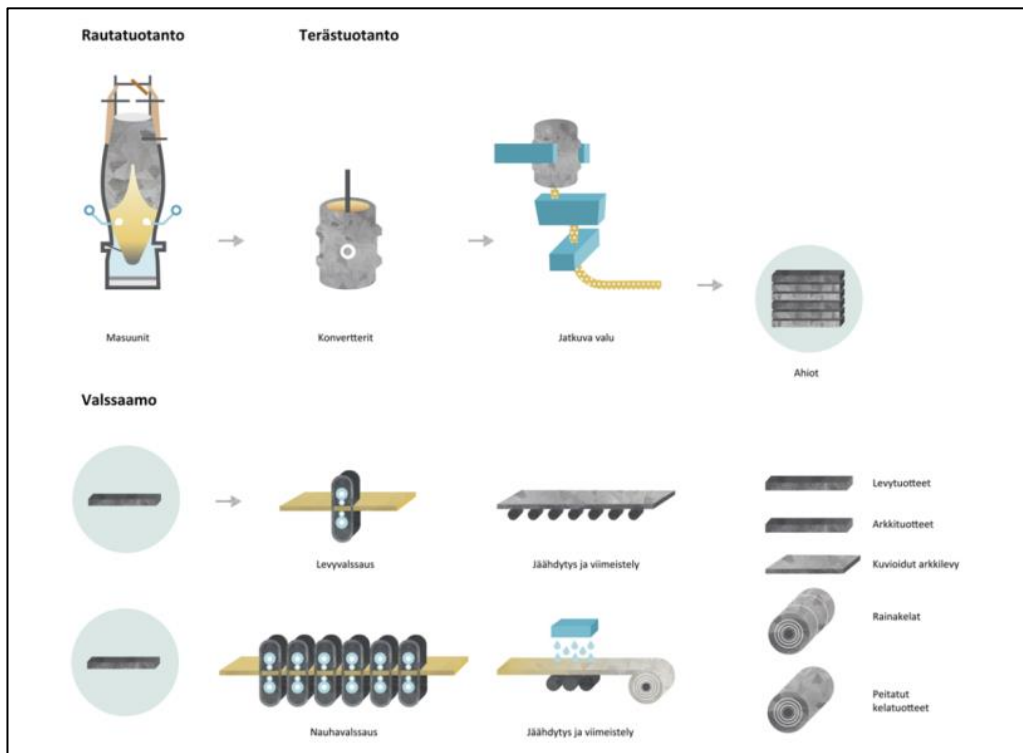
SSAB on markkinoiden johtava tuottaja pitkälle kehitetyissä lujissa ja suorasammutetuissa teräksissä. Konsernin vuotuinen liikevaihto on 55 mrd. Ruotsin kruunua. (SSAB 2017b.)

2.2 Raahen tehdas

Raahen tehdasta alettiin rakentaa Rautaruukki Oy:n toimesta 1961. Rautaruukki Oy perustettiin vuotta aiemmin. Masuunin peruskivi muurattiin 1962 ja masuuni otettiin käyttöön 1964. Muutamaa vuotta myöhemmin valmistuivat terässulatto ja valssaamo. Ensimmäinen levy valssattiin 17.8.1967 klo 10.50, levy on kiinnitetty muistoksi valssaamon seinään. (SSAB 2017f.)

Tehdasalue on kooltaan noin 500 hehtaaria ja rautateitä alueella on yli 30 km. Lisäksi tehdasalueella sijaitsee oma satama, jossa vierailee vuosittain noin 600 laivaa. Sataman kautta tehdas saa tarvittavat raaka-aineet ja vientituotteet lähetetään maailmalle. (SSAB 2017f.)

Tuotantoprosessit on jaettu rauta- ja terästuotantoon (Kuvio 1). Rautatuotantoon kuuluvat masuuni ja koksaamo. Koksaamalla tuotetaan masuunille polttoainetta kuivatislaamalla kivihiilestä koksia. Masuunilla tuotetaan rautaa panostamalla masuuniin rautamalmia pellettinä, kivihiiltä koksina sekä muita seosaineita. (SSAB 2017f.)

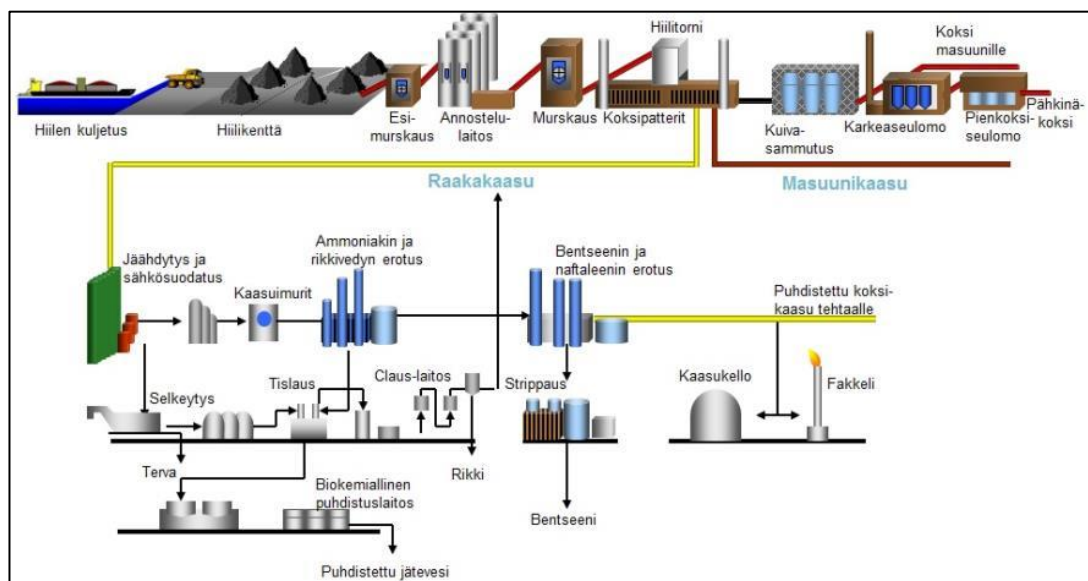


Kuvio 1. SSAB Raahen tehtaän tuotantoprosessi (SSAB 2017f).

Terästuotannossa masuunilla tuotettu raakarauta jatkojalostetaan sulatolla teräkseksi. Teräksestä tehdään jatkuvavalukoneella ahiota. Ahiot valssataan joko nauha- tai levyvalssaamalla keloiksi ja levyiksi. Kelat jatkojalostetaan arkkituotteiksi, rainakeloiksi tai peitatuiksi keloiksi. (SSAB 2017f.)

2.3 Koksaamo

Koksaamalla tuotetaan metallurgisesta kivihiilestä koksia masuunin polttoaineksi. Koksin valmistus aloitetaan valitsemalla eri kivihiililaaduista hyvin koksautuva ja kaasua tuottava kivihiiliseos eli resepti. Koksaamon oma laboratorio tekee koekoksauskia pienessä testiuunissa eri kivihiililaatuja sekoittaen. Eri kivihiililaadut saapuvat satamaan eri puolilta maapalloa. Kivihiili ajetaan laivoista kivihiilikentälle varastokasoihin, kukin laatu omaansa (Kuvio 2). (SSAB 2017f.)



Kuvio 2. Koksaamon prosessikuva. (SSAB 2017f)

Kivihiililaadut syötetään kivihiilikentältä annostelulaitokselle. Annostelulaitos pitää sisällään kymmenen 850 tn vetoista kivihiilisiiloa, johon kutakin reseptiin tarvittavaa kivihiililaatua varastoidaan. Kivihiililaadut annostellaan reseptin mukaan tn/h annosteluperiaatteella. Annostelulaitokselta kivihiiliseos kuljetetaan murskaamolle, jossa kivihiili murskataan noin 2.4 mm keskimääräiseen raekokoon. Murskaus tapahtuu joko häkkimurskaimella tai kahdella vasaramurskaimella. (SSAB 2017f.)

Murskaamolta kivihiili ajetaan kuljettimia pitkin sekoitusasemalle, jossa kivihiili-seosta sekoitetaan ennen hiilitorniin varastointia. Hiilitornissa on varastoituna 1900 t kivihiiltä, joka riittää noin 12 tunnin tarpeeseen. Hiilitornista kivihiili annostelaan panostusvaunun hiilisiiloihin, joita on kolme kappaletta. Siiloista kivihiili annostellaan koksiuuniin kolmen panostusaukon kautta. Kivihiiltä annostellaan koksiuuniin noin 33 t reseptistä riippuen. (SSAB 2017f.)

Koksipatteri koostuu 70 kappaleesta koksiuuneja. Koksiuunit jakautuvat kahteen osioon 1- ja 2-patteriin. Koksiuunit ovat mitoiltaan seuraavanlaisia: leveys 41 cm, korkeus 7 m ja pituus 16 m. Koksausprosessi tapahtuu hapettomassa tilassa noin 1100 asteen lämmössä, jossa kivihiilestä haihtuu koksikaasun mukana muun muassa tervaa, rikkiä ja bentseeniä. Sopiva lämpötila koksiuuniin saadaan polttamalla uunien välissä olevien lämmitysseiniä hormeissa joko koksi- tai seoskaasua. Seoskaasu on masuuni- ja koksikaasun seosta. Koksausprosessi kestää noin 15 tuntia, jonka aikana kivihiilijauheesta on muodostunut koksia. (SSAB 2017f.)

Koksiuunit tyhjennetään työntövaunulla. Koksiuuniin muodostuu uunin kokoinen ”koksikakku”, jonka ovivaunu ottaa vastaan koksipatterin toisella puolella. Ovi-vaunun alapuolella sijaitsee koksinsiirtoveturi, johon koksikakku tippuu. Uunien tyhjennykset ja täytöt tapahtuvat 12 minuutin sykleissä. (SSAB 2017f.)

Koksiuunista purettu koksi on punahehkuista ja noin 1070 asteen lämpöistä. Hehkuva koksi täytyy sammuttaa joko kuiva- tai märkäsammutuksella. Märkäsammutus tapahtuu vedellä pudottamalla koksien päälle vettä noin 13 m³. Märkäsammutusta käytetään vain erikoistilanteissa. Normaalisti koksi kuljetetaan sammutettavaksi kuivasammutuslaitokselle. (SSAB 2017f.)

Kuivasammutuslaitos koostuu kolmesta sammutusyksiköstä ja kukin yksikkö sammutuskammioista ja jätelämpökattilasta. Koksi panostetaan sammutuskammioon yläkautta. Sammutuskammion ja kattilan välillä kiertää inertti kiertokaasu. Koksien lämpöenergia otetaan talteen jätelämpökattilassa ja sillä tuotetaan matala- ja korkeapainehöyryä. Koksi purkaantuu sammutuskammion alaosasta kuljettimelle noin 200 asteen lämpöisenä. Koksi kuljetetaan kuivasammutuslaitokselta karkeaseulomolle, jossa koksi seulotaan kahteen eri frakti-

oon >20mm ja <20mm. Yli 20mm fraktio menee kuljetinta pitkin masuunille ja alle 20mm pienkoksiseulomolle. (SSAB 2017f.)

Sivutuotelaitoksella puhdistetaan koksipatterilla tuotettu raakakaasu. Kaasu imetään kahdella kaasuimurilla. Imureilla pidetään raakakaasun paine sopivana koksipatterilla. Kaasu kulkeutuu koksipatterilta ensin esijäähdyttimille. Esijäähdyttimiltä kaasu menee sähkösuodattimille, joilla poistetaan osa kaasun mukana tulevasta tervasta. Koksikaasusta pestään ja tislataan sivutuotteet: rikki, bentseeni, ammoniakki, naftaleeni ja kivihiiliterva. Sivutuotteet myydään kemian teollisuudelle jatkojalostukseen. (SSAB 2017f.)

Puhdistettu koksikaasu varastoidaan kaasukelloon, joka toimii puskurivarastona. Koksikaasua tuotetaan tunnissa noin 55000 Nm³/h. Koksikaasua käytetään: koksipatterin, aihoiden, kalkkiuunien ja senkkojen lämmitykseen. Näiden lisäksi koksikaasua käytetään voimalaitoksella. (SSAB 2017f.)

3 NYKYINEN KIVIHIILIMURSKAIN

3.1 Kojeisto ja sähkölähtö

2-Murskainta syötetään kojeistosta Ks1D. Kojeisto on malliltaan kolmikiskoinen ja lähtöjä on 8 kappaletta. Kojeiston nimellisvirta on 800 A ja terminen oikosulkuvirrakesto 20 kA/1s (Liite 1). Lähdöt ovat rakenteeltaan kolmiosaisia. Yläosassa sijaitsee lähdön riviliittimet ja moottorinsuojarele. Keskiosassa lähtöä sijaitsee katkaisija ja alaosassa kaapelilähtö sekä maadoituskytkin. Kojeiston yhdyskiskosto kulkee kojeiston keskiosassa vaakasuuntaisesti.

Murskaimen katkaisija on malliltaan Merling Gerlin Rollarc 400 (Kuva 1). Katkaisijan nimellisvirta on 400 A ja nimellisjännite 7,3 kV. Katkaisijassa ylivirtasuojana ovat sulakkeet, joiden nimellisvirta on 200 A. Kun murskaimelle tehdään huoltotoimenpiteitä, vedetään katkaisija ulos erotusasentoon.



Kuva 1. 2-Murskaimen katkaisija.

Moottorin suojareleenä toimii SPAM 110. Releellä suojataan moottoria ja moottorin syöttökaapelia maa-oikosululta, oikosululta ja ylikuormalta. Suojarele mittaa moottorille lähtevää virtaa ja jännitettä sekä valvoo maasulkua.

Kuormitusvirtaa mitataan virtamuuntajilla ja jännitettä jännitemuuntajilla. Virtamuuntajat sijaitsevat kahdessa syöttökaapelille menevissä virtakiskossa. Jännitemuuntajat sijaitsevat mittauskentässä. Maasulkuvirtaa mitataan kaapelivirta-

muuntajalla. Ylikuorman tai maasulun havaittuaan suojarele laukaisee katkaisijan.

Jotta suojarele toimii oikein, on sille määritelty toiminta-ajat ja arvot. Suojareleelle määritellään moottorin täyden kuorman kuormavirta I_N . Kun aseteltu kuormavirta ylittyy 5 %, toimii lämpösuoja $t_{6x}[s]$ asetellun ajan (8s) kuluttua. Ylivirtasuojauksen $I_{>>}$ toiminta-arvoksi on aseteltu $6xI_N$. Maasulkusuojauksen I_0 asetus aika on 0,06 s.

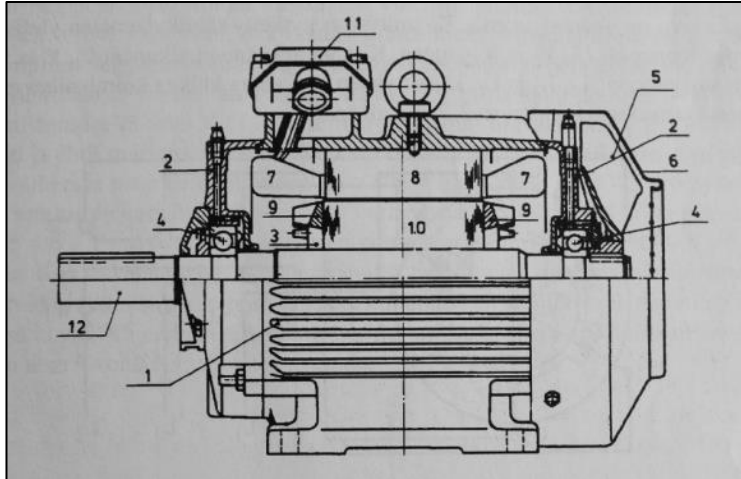
Katkaisijalle suoritettiin koskettimien yhdenaikaisuusmittaus. Mittauksella saadaan selville katkaisijan koskettimien L1, L2 ja L3 avautumisaika katkaisijan toimiessa. Taajuusmuuttajakäytöllä on tiettyjä vaatimuksia katkaisijan koskettimien toiminta-ajalle. Mittaus tilattiin voimalaitoksen kunnossapitoryhmältä. Katkaisijan koskettimien toiminta-ajaksi mittauksissa saatiin 45 ms (Liite 8).

3.2 6 kV:n sähkömoottori

Epätahtimoottori eli oikosulkumoottori on yleisesti käytetty moottorityyppi. Oikosulkumoottorin rakenne on suhteellisen yksinkertainen. Oikosulkumoottorin rakenne näkyy tarkemmin kuviossa 3. (Aura, Tonteri & Söderström 1996, 119.)

Moottorin runko (1) on yleensä joko valurautaa tai alumiinia. Rungon sivuilla on jäähdytysrivat, joiden kautta ylimääräinen lämpö poistuu moottorin rungosta. Jotta lämpöä poistuu tarpeeksi, on akselin päähän asennettu tuuletin (5). Rungon päädyissä on laakerikilvet, (2) joihin akseli (12) kiinnittyy laakereiden (4) välityksellä. Moottorin laakerointiin ja käämityksiin (7 ja 9) päästään käsiksi poistamalla laakerikilvet. (Aura, Tonteri & Söderström 1996, 119.)

Moottorin syöttökaapeli kytketään liitäntäkotelossa (11) staattorikäämeihin. Staattorikäämitykset on asennettu moottorin rungossa oleviin uriin ja lukittu paikalleen kiiloilla. Moottorin roottori koostuu roottorikäämityksestä (häkkikäämitys) ja roottorin levypaketista. Roottori on kiinnitetty moottorin akseliin, jonka kautta moottorin tuottama vääntömomentti saadaan käyttöön. (Aura, Tonteri & Söderström 1996, 119.)



Kuvio 3. Oikosulkumoottorin rakenne (Aura, Tonteri & Söderström 1996, 119).

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1. Staattorin runko. | 7. Staattorin käämitys. |
| 2. Laakerikilvet. | 8. Staattorin levypaketti. |
| 3. Roottori. | 9. Roottorin käämitys. |
| 4. Laakerit. | 10. Roottorin levypaketti. |
| 5. Tuuletin. | 11. Liitäntäkotelo. |
| 6. Tuulettimen suojus. | 12. Akseli. |

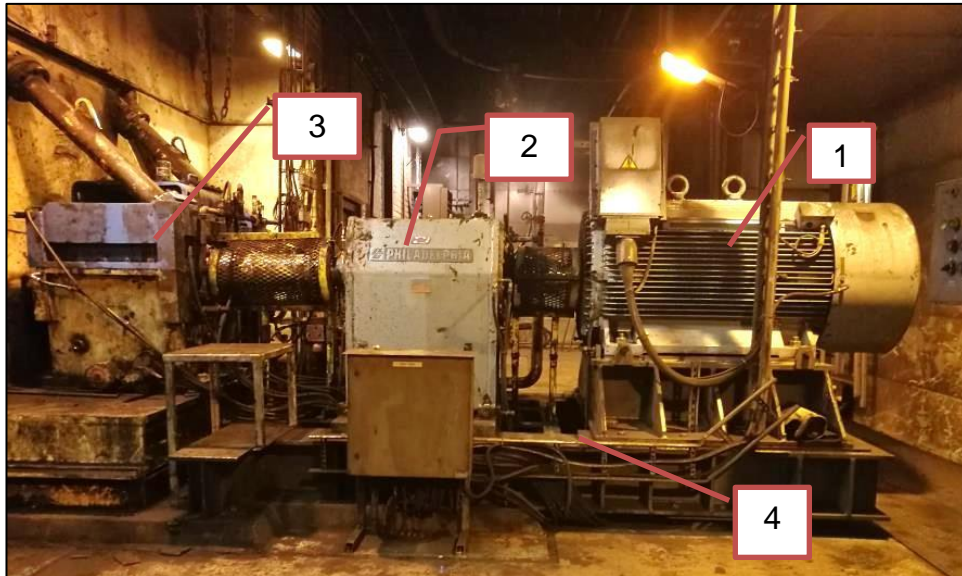
Oikosulkumoottorin toiminta perustuu pyörivään magneettikenttään. Pyörivä-magneettikenttä leikkaa häkkikäämityksen sauvoja, joihin indusoituu virtaa. Virrallinen johdin pyrkii seuraamaan pyörivää magneettikenttää. (Aura, Tonteri & Söderström 1996, 166.)

Oikosulkumoottorin roottorissa on häkkikäämitys. Kun staattorin magneettikenttä leikkaa häkkikäämityksen sauvoja, indusoituu häkin sauvoihin jännite ja sitä myöten virta. Häkkikäämitys muodostaa virrallisen silmukan. (Aura, Tonteri & Söderström 1996, 166.)

Häkkikäämityksen virrallinen johdinsilmukka pyrkii kääntymään poikittain magneettikenttään nähden. Kun johdinsilmukka on poikittain magneettikentässä, on sen vääntömomentti nolla. Johdinsilmukkaan ei silloin indusoidu jännitettä. Ennen tätä tapahtumaa on jo seuraavan vaiheen aiheuttama magneettikenttä liikuttanut roottoria eteenpäin. (Aura, Tonteri & Söderström 1996, 166.)

Murskaimen sähkömoottori (1) on tyypiltään HXR 450LN6 ja valmistaja ABB Strömberg Drives. Moottorin nimellisteho on 800 kW, nimelliskierrosnopeus 994

rpm, nimellisjännite 6 kV ja nimellisvirta 91 A. Moottorin valmistusvuosi on 1992. Moottorin asennuspeti (4) on yhtenäinen nestekytken kanssa (2) (Kuva 2). Moottori on mahdollista asentaa nestekytken paikalle, mikäli nestekytken poistetaan.



Kuva 2. 2-Murskaimen sähkömoottorin ja nestekytken asennuspeti.

1. Murskaimen sähkömoottori
2. Nestekytken
3. Alennusvaihteisto
4. Asennuspeti

Murskain tarvitsee pyöriäkseen vääntömomenttia. Sähkömoottorin vääntömomentti laskettiin kaavalla (1). Moottorin nimellismomentiksi saatiin 7686 Nm.

$$T_n = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} \quad (1)$$

missä

T_n	on	Moottorin momentti [Nm]
P	on	Moottorin teho [W]
n	on	Moottorin nimelliskierrosnopeus [rpm]

Murskaimen käyttö on tyypiltään vaihteleva momenttinen (Hietalahti 2013b, 97). Murskaimen tehonkulutus mitattiin Hioki-tehoanalysointilaitteella. Tehonkulutuksen laskennasta on kerrottu tarkemmin luvussa 4.2. Mittaustuloksista tehdystä histogrammista oli selvästi havaittavissa moottorin käyntiaika sekä tyhjäkäynti- ja huipputeho sekä käytönaikainen teho

Kun murskainta käytetään tyhjäkäynnillä, ottaa se verkosta keskimäärin 163 kW:n tehon (Kuvio 7). Tyhjäkäynti momentiksi kaavalla (1) saatiin 1567 Nm. Normaalin käynnin aikana murskain ottaa verkosta keskimäärin 438 kW:n tehon. Vääntömomentiksi normaalille käynnille saatiin 4216 Nm.

Moottori on ollut tuotannossa 25 vuotta. Tuona aikana moottori on ollut käynnissä noin 60 %. Vuosiksi muutettuna tämä tarkoittaa $0,60 \times 25 \text{v} = 15 \text{v}$. Moottorin normaali kuormitus on 4216 Nm joka on 54 %, moottorin nimellisestä vääntömomentista. Murskaimen moottori pyörii nimellisellä nopeudella kevyesti kuormitettuna ja hyvin jäähdytettynä.

Moottori käynnistyy nestekytkintä vasten, mikä vastaa lähes kuormatta käynnistymistä. Käynnistysten lukumäärä vuorokaudessa riippuu prosessin tarpeista ja hiilen syöttönopeudesta.

Oikosulkumoottorin elinkaari on vuosikymmeniä (Kinnunen 2014). Murskaimen moottori on huollettu viimeksi vuonna 2006. Murskaimen sähkömoottori on edellisten tietojen perusteella puolivälissä elinkaartaan. Ottaen huomioon moottorin kuormituksen ja kierrosnopeuden on moottori rasittunut normaalia vähemmän.

3.3 Nestekytin

Nestekytkimellä säädetään murskaimen kierrosnopeutta. Nestekytkimen sisällä on jousikuormitettu kytkinpakka, jota painetaan kasaan hydraulisylinterillä (Liite 2). Mitä enemmän kytkinpakkaa painetaan yhteen, sitä enemmän voimaa ja kierroksia välittyy ulostuloakselille. Kytkinpakan päälle ruiskutetaan automaattivaihteistoöljyä, joka voitelee kytkintä ja siirtää ylimääräisen lämmön pois. Nestekytkimen miniminopeus on 500 rpm ja maksimi 1000 rpm.

Nestekytin toimii samalla akselin murtosuojana. Kytin luistaa normaalissa käytössä jatkuvasti ja antaa myöten, kun murskain on tukkeutumassa. Murskaimen kierrokset laskevat, kun kuljettimilta tulee isompi kivihiiliannos. Nestekytimen nopeuden säätö ei ehdi reagoida yhtäkkiisiin kuormituksen muutoksiin.

3.4 Alennusvaihteisto

Alennusvaihteistolla (Kuva 2) (3) pienennetään nestekytimen tuottamaa kierrosnopeutta. Vaihteistolla pyöritetään murskaimen kehää myötä- ja vastapäivään. Alennusvaihteiston välityssuhde on kaavalla 2 laskettuna 2,44:1. Nestekytimen pyörittäessä alennusvaihteistoa 600 rpm nopeudella pyörivät murskaimen kehät 245 kierrosta minuutissa.

$$I = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

missä

I	on	Välityssuhde
z ₁	on	Käyttävän pyörän hammasluku
z ₂	on	Käytettävän pyörän hammasluku
n ₁	on	Pyörimisnopeus vaihteistoon
n ₂	on	Pyörimisnopeus vaihteistosta

Välityssuhde kasvattaa murskaimen kehien vääntömomenttia suoraan verrannollisesti. Moottorin nimellisellä vääntömomentilla, kaavalla 3 laskettuna kehien vääntömomentiksi saatiin 18 kNm. Alennusvaihteiston hyötysuhteeksi oletettiin 0,96.

$$T_2 = T_n * i * \eta \quad (3)$$

missä

T ₂	on	Ulostulovääntömomentti [Nm]
T _n	on	Moottorin nimellisvääntömomentti [Nm]
i	on	Välityssuhde

η on Vaihteiston hyötysuhde

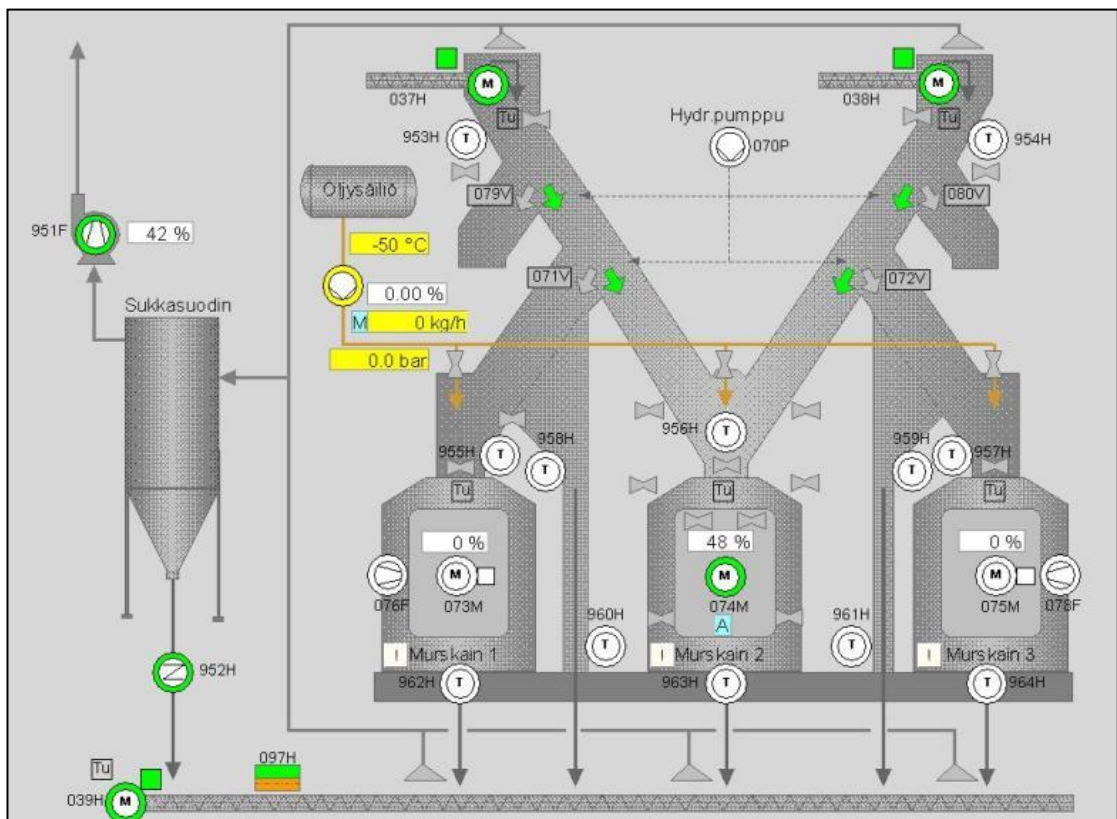
3.5 Kivihiilimurskain

Kivihiilimurskain on rakenteeltaan häkkityyppinen jossa sisä- ja ulkokehät pyörivät eri suuntiin murskaten hiilen (Liite 3). Murskattava kivihiili syötetään murskaimen keskelle. Kivihiili kulkeutuu kehien välissä, osuen kehissä oleviin kulu-
tuspaloihin. Murskautunut kivihiili tippuu kuljettimelle, jatkaen matkaa hiilitorniin. Murskaimen kierrosnopeutta säädetään hiilen halutun raekokojakauman mukaan.

4 NYKYINEN AJOTAPA

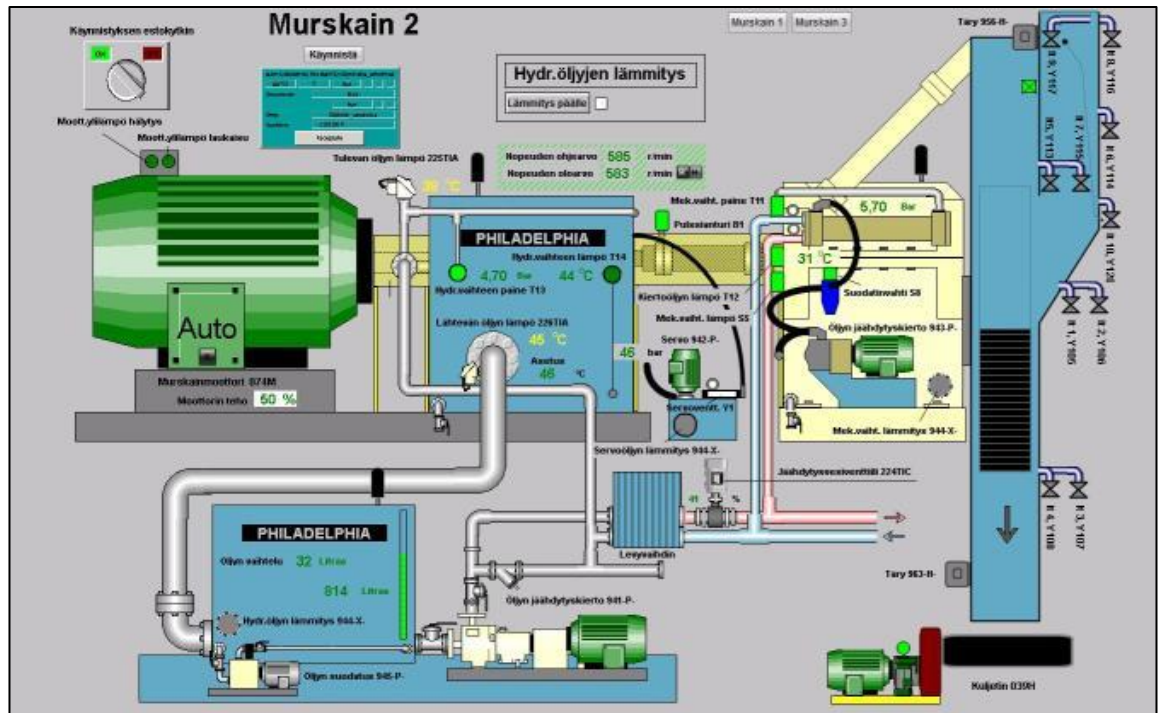
4.1 Ajotapakuvaus

Kivihiilimurskaamoon syötetään kivihiiltä kuljettimilla 037H ja 038H (Kuvio 4). Kuljettimet tulevat annostelulaitokselta. Kivihiili voidaan ohjata joko murskaimille 1 ja 3 tai 2. Kivihiilimurskaimet 1 ja 3 ovat alkuperäisiä vasaramurskaimia. Murskaimet 1 ja 3 ovat varalla, mikäli pääkäytössä oleva murskain 2 rikkoontuu tai kaipaa pidempiaikaista huoltoa. Murskaamolta kivihiili ajetaan hiilitorniin.



Kuvio 4. Kivihiilimurskaamon prosessikuva.

Murskain 2 on kokonaisuus johon kuuluvat 6 kV sähkömoottori, nestekytkin, alennusvaihteisto ja häkkimurskain (Kuvio 5). Murskaimelle asetellaan tavoite kierrosnopeus, jota säädetään nestekytkimellä. Murskaimen kierrosnopeudella säädetään hiilen raekokojakaumaa. Tyypillinen murskaimen kierrosnopeusalue on 550–650 kierrosta minuutissa (SSAB 2018).



Kuvio 5. 2-Murskaimen ajokuvake.

4.2 Energiankulutus

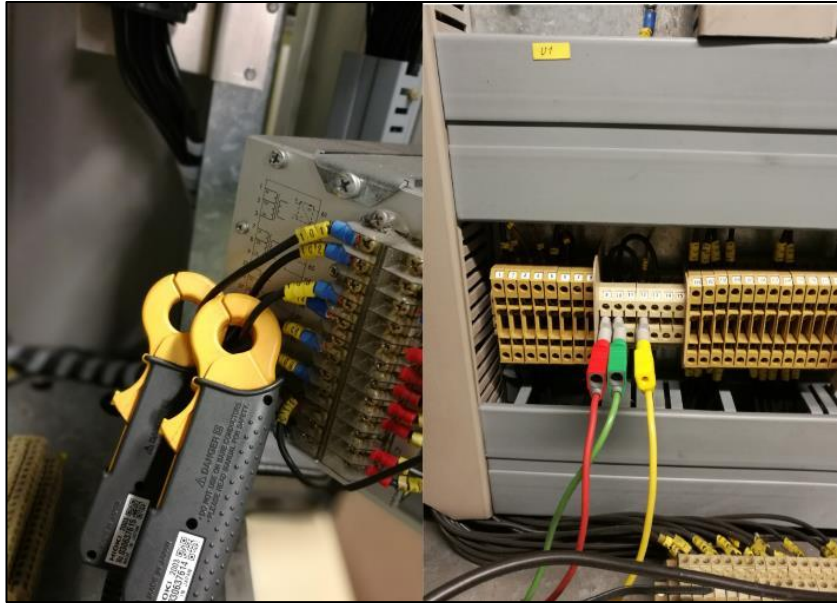
Murskaimen energiankulutus mitattiin, jotta saatiin selville murskaimen kuluttaman sähkön kustannus. Mittaus tehtiin keskiarvomittauksena ja tuloksesta lasketaan murskaimen keskimääräinen tuntiteho. Murskaimen energiankulutus mitattiin Hioki 3196 -tehoanalysaattorilla (Kuva 3). Mittaus tehtiin sekundäärimitauksena moottorinsuojareleeltä ja riviliittimiltä. Tehoanalysaattorille asetettiin virta- ja jännitemittamuuntajien muuntosuhteet. Näiden tietojen perusteella tehoanalysaattori sai oikeat virta- ja jännitearvot tehon mittausta varten.



Kuva 3. Hioki 3196 -tehoanalysaattorin mittauskytkentä.

Moottorin jännite- ja virta-arvot mitattiin kojeiston kiskostosta. Jännite mitataan jännitteenmittauskentässä, josta jänniteviesti on johdotettu murskaimen lähtökenttään. Lähdön virta mitataan virtamuuntajilla, lähdön kiskostosta. Virtamuuntajien virtaviesti on johdotettu moottorinsuojareleelle, josta ne mitattiin tehoanalysaattorilla.

Virta-arvojen mittaamiseen käytettiin pihtivirtamittareita, jännitearvot mitattiin suoraan riviliittimiltä (Kuva 4). Tehonmittaus tehtiin vaiheista L1 ja L3. Vaiheista mitattiin vaihejännite ja vaihevirta.

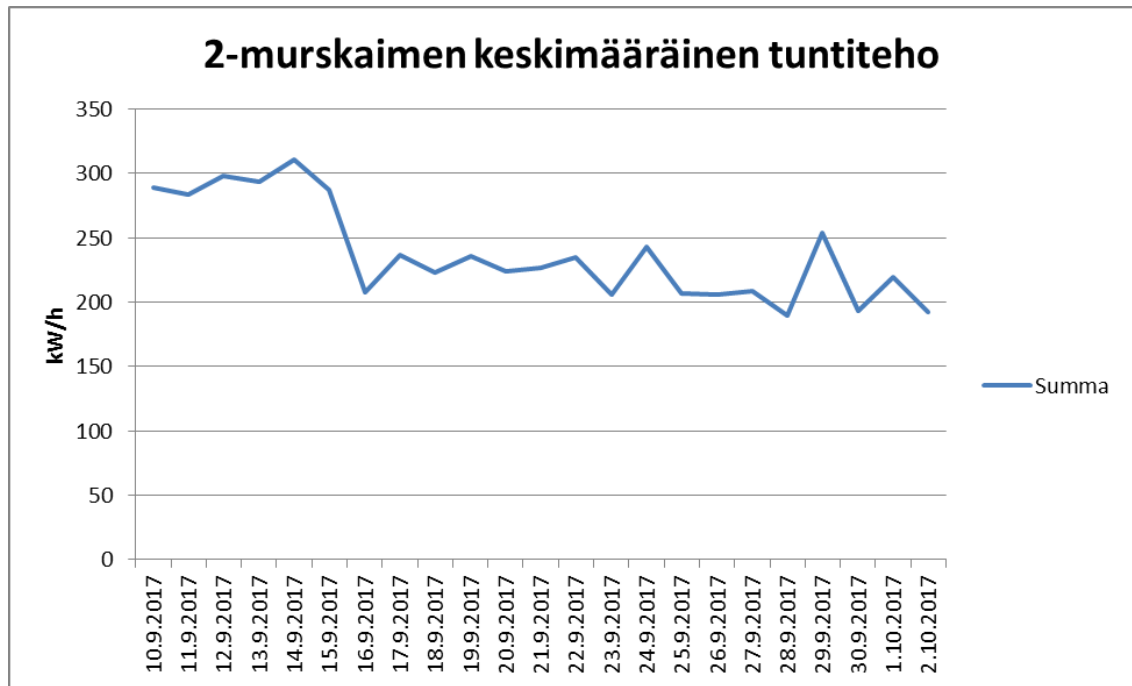


Kuva 4. Murskaimen virta mitattiin pihtivirtamittareilla ja jännite mitattiin riviliittimiltä.

Analysaattorilla kerättiin talteen tehon minimi-, maksimi ja keskiarvo. Mittaustulokset tallennettiin 30 sekunnin keskiarvona 22 päivän ajan. Analysaattori tallensi L1- ja L2- vaiheiden yhteenlasketun tehon. Kokonaistehon selvittämiseksi, täytyi laskea ensin yhden vaiheen teho ja sen jälkeen kertoa tulos kolmella.

Laskentaan käytettiin tehon keskiarvoa. Pitkällä tiedonkeruujalla saatiin laaja ja luotettava otanta murskaimen energiankulutuksesta.

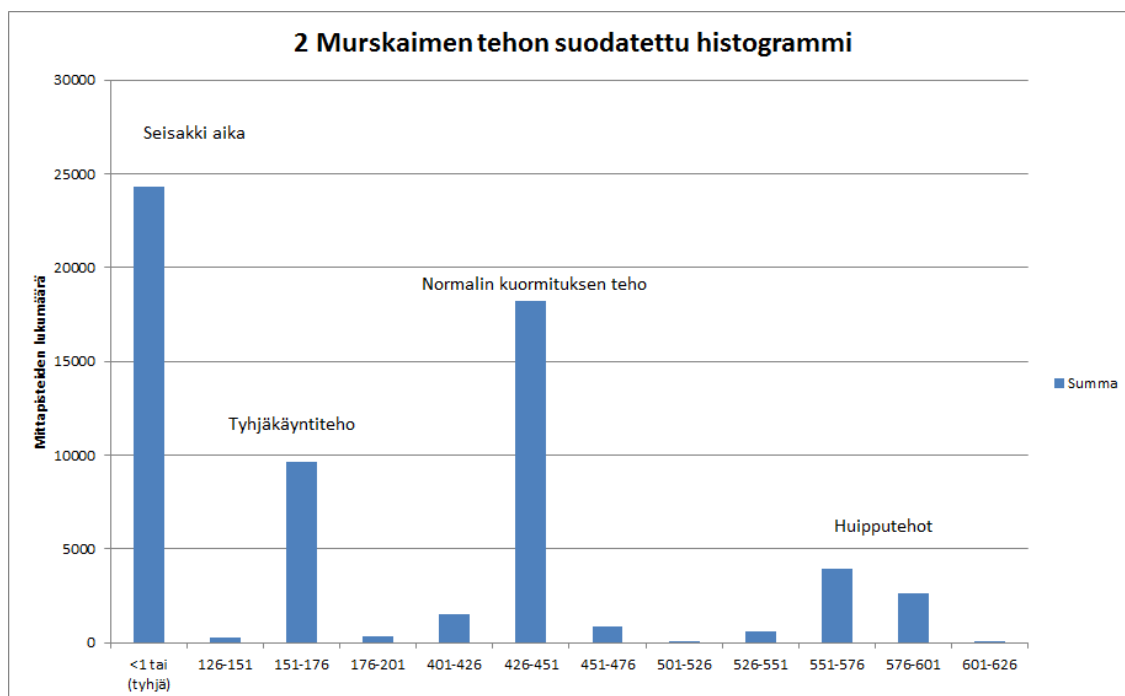
Keskimääräinen tuntiteho mittausjaksolla oli 238 kW. Murskaimen keskimääräinen tuntiteho (Kuvio 6) vaihtelee jonkin verran riippuen murskaimen päivittäisestä käyttöajasta ja murskattavasta kivihiilimäärästä. Murskaimen käyttö on välillä katkonaista, mikä laskee tuntitehon keskiarvoa.



Kuvio 6. 2-murskaimen keskimääräinen tuntiteho.

Mittaustuloksista tehtiin histogrammi, josta voidaan analysoida murskaimen käyttöastetta ja käytetyimpien tehoalueiden jakaumaa. Histogrammi tehtiin aluksi koko mittausjakson tuloksista (Liite 5).

Histogrammiin tehtiin askellus 25 kW:n välein. Tällä saatiin rajattua histogrammista selkeät käyttöalueet (Kuvio 7). Histogrammista nousi esille murskaimen tyhjäkäynti-, normaalikäynti- ja huippukäyntiteho.



Kuvio 7. Murskaimen tehon histogrammi.

Nestekyttimeen kuluttama lämpöteho selvitettiin mittaamalla kytkimeltä lähtevän ja kytkimelle tulevan öljyn lämpötila. Mittaus suoritettiin National Instrumentsin tiedonkeruuyksiköllä. Öljyn lämpötilat mitattiin öljyputkista pintalämpötila-antureilla. Mittaustulokset tallennettiin 30 sekunnin keskiarvona 22 päivän ajan. Jäähdytysöljyn jäähdytystarve saatiin mittaustulosten erotuksesta, tämän perusteella lämpövirta laskettiin.

Nestekyttimeen jäähdytysjärjestelmässä kiertää noin 1000 litraa Mobilin ATF 220 -öljyä. Öljyä jäähdytetään lämmönvaihtimilla ja vaihtimia jäähdytetään teollisuusvedellä. Öljyn kierrätyspumpun tuotto on 218 gpm, joka vastaa 825 litraa minuutissa. (SSAB 2017f.)

Öljyn lämpötilan keskiarvoiksi mittausjaksolla saatiin 36,3°C ja 33,2°C. Jäähdytystarve Q laskettiin kaavalla 2. Laskentaa varten tarvittiin öljyn ominaislämpökapasiteetti ja tiheys. Nämä öljyn ominaisarvot vaihtelevat öljyn lämpötilan mukaan. Arvot saatiin öljyn valmistajan teknisestä tuesta (Liite 6) (Kronqvist, K. 2017). Öljyn massavirta saatiin kertomalla öljyn virtaus l/s öljyn tiheydellä. Tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin arvot valittiin liitteen 6 taulukosta 30 °C:n riviltä.

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (2)$$

missä

Q	on	lämpövirta [kW]
m	on	öljyn massavirta [kg/s]
c	on	öljyn ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg]
ΔT	on	lämpötilan muutos [°C]

$$12 \frac{kg}{s} * 1,915 \frac{kJ}{kg} * (36,3^{\circ}C - 33,2^{\circ}C) = 71kW$$

Murskaimen vuotuinen energiankulutuksen hinta on laskettu liitteessä 7. Murskaimen sähkötehon keskimääräinen tuntiteho on 238 kW ja keskimääräinen sähköenergiankulutus tunnissa on 238 kWh. Nestekytkimen lämpötehon keskimääräinen tuntiteho on taas 71 kW ja Keskimääräinen lämpöenergian tuntiteho on 71 kWh.

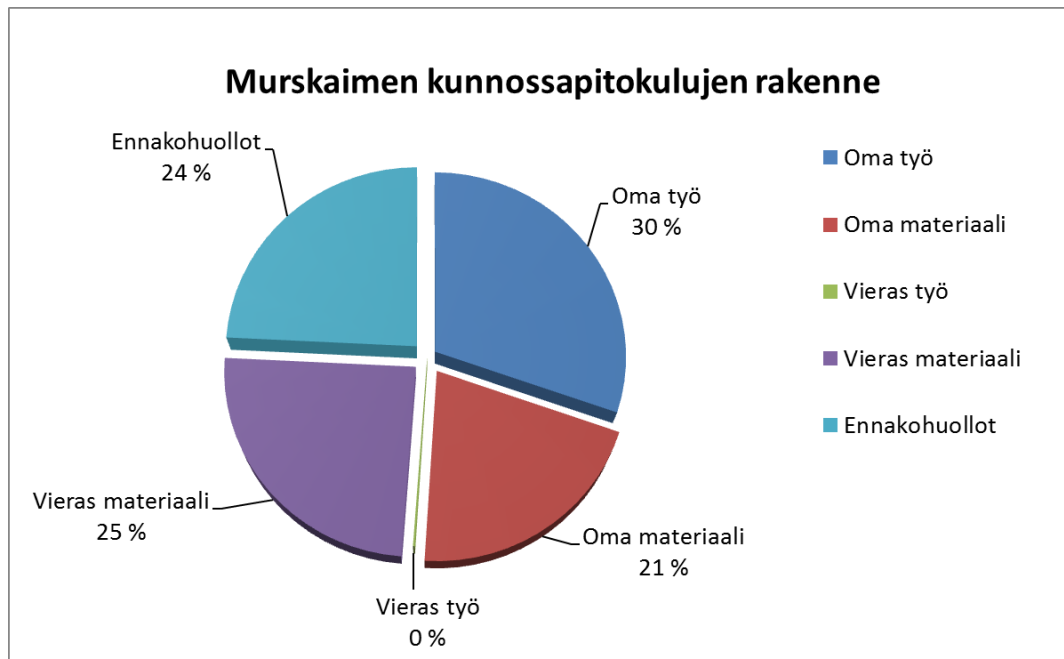
Nestekytkimen hyötysuhde η näillä arvoilla laskettuna on noin $(238-71)/238=0,7$. Nestekytkimen hyötysuhdetta ei voi laskea tarkasti näillä tiedoilla. Tarkempiin laskelmiin tarvittaisiin alennusvaihteiston, murskaimen ja sähkömoottorin vierintävastukset, jotka vähennettäisiin kokonaistehon kulutuksesta.

4.3 Kivihiilimurskaimen kunnossapito

Kivihiilimurskaimen kunnossapito koostuu ennakoivista, suunnitelluista ja välittömistä kunnossapitotoista. Ennakoiviin kunnossapitotoihin kuuluu viikoittainen ennakkohuolto. Suunniteltuja huoltoseisakkeja tehdään tarpeen mukaan. Murskaimessa on kiinteä kunnonvalvontajärjestelmä, jolla seurataan laitteiston kuntoa.

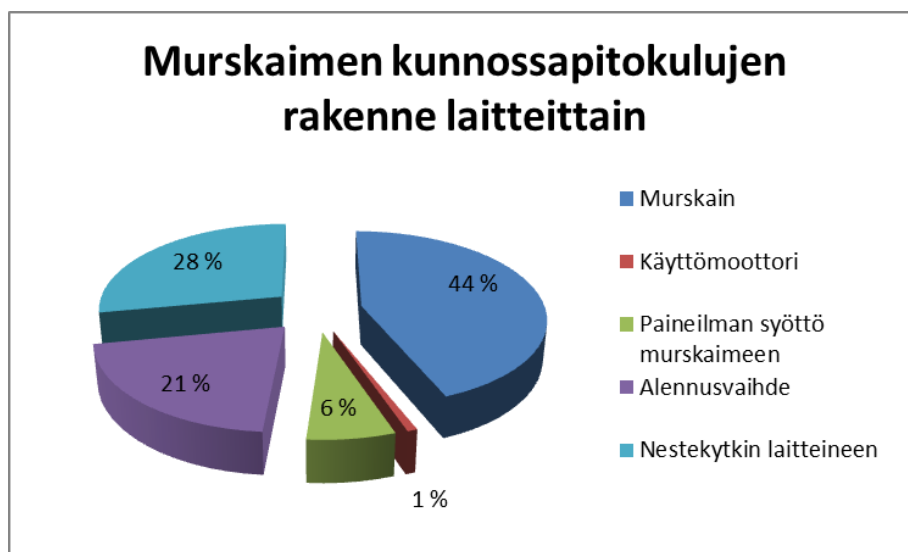
Kunnossapitokustannukset koostuvat ennakkohuollon, oman työn, oman materiaalin ja vieraan materiaalin kustannuksista. Kustannusten prosentuaalinen jakauma on esitetty kuviossa 8. Kunnossapitokustannukset haettiin takautuvasti viideltä vuodelta. Viiden vuoden kunnossapitokustannuksista laskettiin vuoden

keskiarvo. Tällöin voitiin laskea vuoden kunnossapitokulut mahdollisimman tarkasti.



Kuvio 8. Murskaimen kunnossapitokulujen kustannusrakenne.

Kun tarkastellaan kunnossapitokuluja laitteittain, murskain vie suurimman prosentuaalisen osuuden (Kuvio 9). Kunnossapitokulut on esitetty tarkemmin liitteessä 4 (SSAB 2017a).

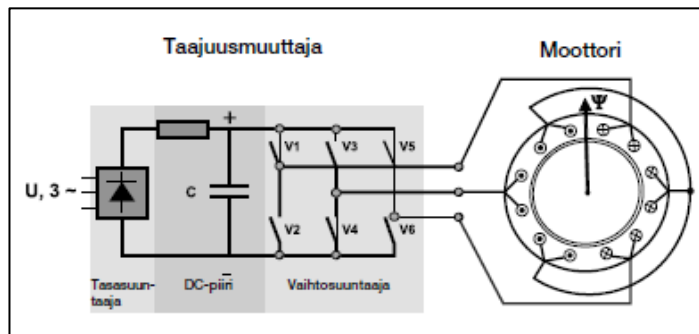


Kuvio 9. Murskaimen kunnossapitokulut laitteittain esitettynä. (SSAB 2017a)

5 TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTTÖ

5.1 Taajuusmuuttaja

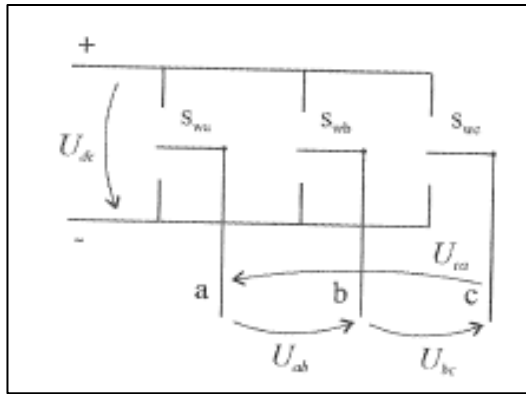
Taajuusmuuttajalla pystytään säätämään oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta portaattomasti ja energiatehokkaasti. Taajuusmuuttajan hyötysuhde on yleisesti ottaen 97-98% (Hietalahti 2013b, 88). Taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, DC-välipiiristä ja vaihtosuuntaajasta (Kuvio 10) (ABB 2001).



Kuvio 10. Taajuusmuuttajan rakenne (ABB 2001).

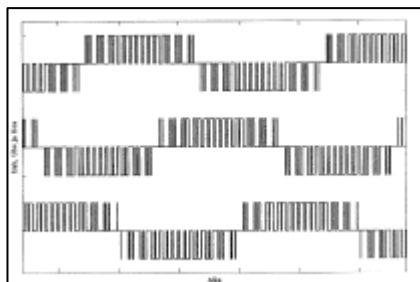
Taajuusmuuttajalle syötetään kolmivaiheista vaihtosähköä. Vaihtosähkö tasasuunnataan diodien avulla. Kun diodin anodi on katodiin nähden positiivinen, kulkee virta diodin läpi (Hietalahti, 2013a, 178). Kun tarvitaan hyvälaatuista tasasähköä, käytetään tasasuuntaukseen kolmivaiheista diodisiltakytkentää (Hietalahti 2013a, 184). Kytkennässä muodostuu tasajännitekiskosto, jossa on positiivinen ja negatiivinen kisko. Kiskostoista muodostuu DC-välipiiri.

Vaihtosuuntauksessa DC-välipiirin tasajännitteestä muodostetaan halutun taajuista vaihtojännitettä. Vaihtojännite muodostetaan ohjaamalla kytkimiä S_{wa} , S_{wb} ja S_{wc} (Kuvio 11) negatiivisen ja positiivisen kiskon välillä (Hietalahti 2013a, 188). Kytkimet tuottavat pisteisiin a, b ja c positiivisia ja negatiivisia jännitepulsseja. Todellisuudessa kytkimien tilalla käytetään tehoelektroniikan komponentteja kuten tyristoreja ja transistoreja.



Kuvio 11. Vaihtosuuntaajan mallintaminen kytkimillä (Hietalahti 2013a, 189).

Vaihtojännitteen taajuutta säädetään pulssin muodostukseen käytetystä jaksonajasta. Pulssin teho määräytyy sen amplitudista ja leveydestä. (Hietalahti 2013a, 190.) Pulssien kytkentätaajuus vaihtelee sadoista aina kilohertzeihin (Hietalahti 2013b, 193). Kytkentätaajuuden kasvattaminen parantaa moottorille syötettävän virran sinimuotoisuutta (Hietalahti 2013a, 193).



Kuvio 12. Taajuusmuuttajan ulostulojännitteen pulssimuoto (Hietalahti 2013a, 191).

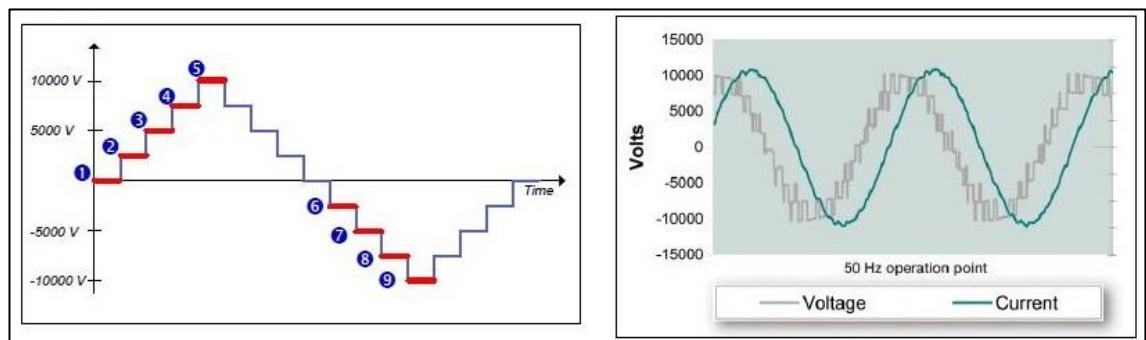
Sähkölaitteistojen on täytettävä EMC (Electro Magnetic Compatibility) yhteensopivuusmääräykset. EMC-määräyksiä ja -menetelmiä noudattamalla varmistetaan, että laitteistot toimivat keskenään ilman, että se häiritsee muita tai tulee häiriintymään muista laitteista (Hietalahti 2013b, 82.) Taajuusmuuttajan tuottama pulssimainen jännite poikkeaa normaalista sinimuotoisesta jännitteestä. Tämä aiheuttaa häiriöitä muihin laitteistoihin.

EMC-häiriöt voivat syntyä ja kytkeytyä järjestelmien välille kolmella tavalla: Joh-
tumisella galvaanisen yhteyden avulla, induktiivisesti ja kapasitiivisesti kytkey-

tymällä. Kun poistetaan yksi edellä mainituista osa-alueista, EMC-häiriöt poistuvat (Hietalahti 2013b, 83.)

Taajuusmuuttajat itsessään täyttävät EMC-määräykset (Hietalahti 2013b, 82), eivätkä aiheuta häiriöitä ympäristöönsä. Myös moottorin, moottorin syöttökaapelin ja turvakytkimen on täytettävä EMC-määräykset. Käytännössä tämä tarkoittaa moottorikaapeliin ja turvakytkimeen 360° asteen maadoitusta. 360° asteen maadoituksella estetään häiriöiden johtuminen muihin laitteisiin.

Taajuusmuuttajalla vaihtosuuntaus voidaan toteuttaa myös useampitasoisena. Perinteiseen pulssiohjaukseen verrattuna jännitetasoja ovat positiivisen ja negatiivisen tason eri variaatiot. Eri variaatiot mahdollistavat sinimuotoisemman jännitteen (Hietalahti 2013a, 195). Kun moottorille syötettävä jännite ja virta ovat sinimuotoisia, voidaan käyttää normaaleita sähkömoottoreita ja syöttökaapeleita (ABB 2016, 17) (Kuvio 13).



Kuvio 13. Useampitasoisen vaihtosuuntauksen jänniteportaat sekä moottorin virta- ja jännitekuvaaja (ABB 2016, 17).

5.2 Moottorin soveltuvuus taajuusmuuttajakäyttöön

Murskaimen sähkömoottorin soveltuvuus taajuusmuuttajakäyttöön on selvitettävä ennen taajuusmuuttajamallin valintaa. Vanha moottori ei välttämättä kestä taajuusmuuttajan aiheuttamia jännitepiikkejä. Moottorin soveltuvuutta tiedusteltiin ABB:ltä ja he suosittelevat moottorille MACHsense-P-, TanD- ja PD – mittauksia. Mittauksissa selvitetään moottorin eristeiden, roottorin ja laakereiden kunto.

MACHsense-P mittaussuoritetaan käynnissä olevalle moottorille. Mittaus pitää sisällään sähköisiä sekä mekaanisia mittauksia. Mittaustulokset yhdistämällä saadaan kartoitettua moottorin nykytila. Sähköiset ilmiöt vaikuttavat mekaanisiin värähtelyihin ja mekaaniset ilmiöt vaikuttavat sähkövirtojen kulkuun. Mittaustuloksista muodostetaan raportti, jossa selvitetään moottorin ja laakeroinnin viat, moottorin asennuksen kunto ja sähkönsyötön laatu. (ABB Oy Service 2014.)

MACHSense-P-raportissa oli yhteenveto mittaustuloksista. Yhteenvedossa ei löytynyt huomautettavaa (Liite 10), mikä aiheuttaisi välittömiä toimenpiteitä. Seurantamittausta suositeltiin vuoden kuluessa.

Murskaimen moottorin eristeiden kuntoa kartoitettiin TanD- ja PD-mittauksilla. Yhteenveto mittaustuloksista on esitetty liitteessä 14. TanD-mittauksella saadaan selville eristeiden resistiivisen ja kapasitiivisen vuotovirran suhde. Ideaalisessa eristeessä resistiivinen ja kapasitiivinen vuotovirta on nolla. Todellisuudessa kaikkien eristeiden läpi kulkee resistiivistä vuotovirtaa. TanD-mittauksesta on tulkittavissa, että eristys toimii hyvin ja eristyksen häviöt ovat matalat. Eristyksen kulumisesta on kuitenkin joitain merkkejä havaittavissa. (Virtanen 2018, 3.)

PD-mittauksella kartoitettiin moottorin osittaispurkauksia. Osittaispurkaukset ovat normaali ilmiö pyörivissä koneissa korkea- ja keskijännitteellä. Pyörivissä koneissa eristyksen paksuus on suhteellisen pieni. Eristyksen ohuus nostaa sähkökentän voimakkuutta. Kaasun läpilyöntilujuus voi paikallisesti ylittyä eristyksen sisällä ja eristyksen sisällä olevissa pienissä kaasutäytteisissä onkaloissa. (Virtanen 2018, 5.)

Kohtuullinen purkaustaso on normaalia, eikä vaaranna eristystä. Korkea purkaustaso voi olla oire eristyksen heikkenemisestä. Mittaustuloksia verrataan toisiinsa rakenteeltaan samankaltaisten moottoreiden kanssa. Paras hyöty tuloksista saadaan, kun mittauksia on tehty useampia samalle koneelle. Näin voidaan vertailla purkaustason nousua edelliseen mittaukseen. (Virtanen 2018, 5.)

Murskaimen moottorin kierrosnopeusalue muuttuu taajuusmuuttajakäytön myötä. Kierrosnopeusalue on noin 550–650 rpm (SSAB 2018). Moottorin kuormitettavuus pienenee kierrosnopeuden laskiessa (Kuvio 14). Kuormituksen piene-

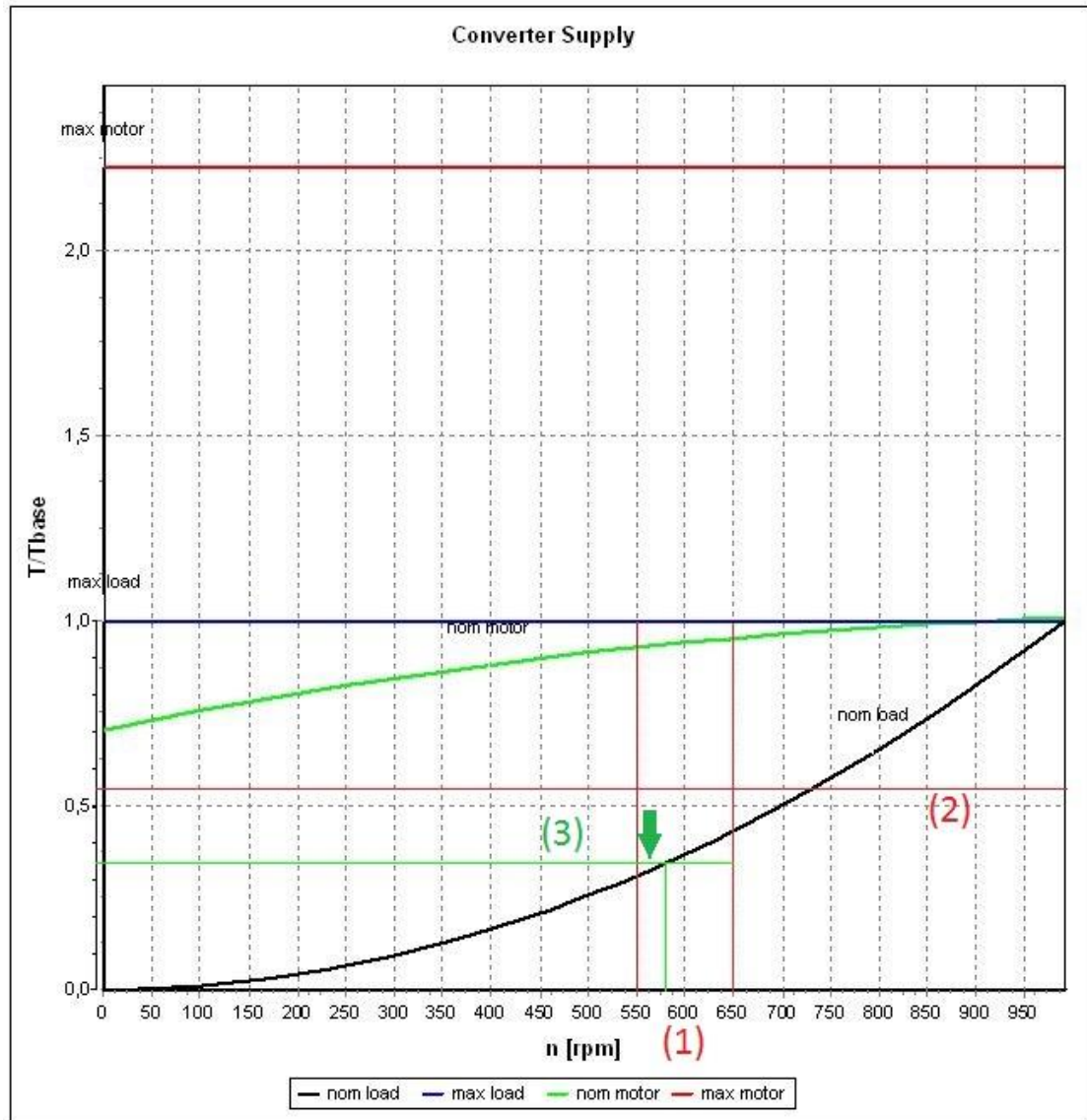
neminen johtuu moottorin jäähdytyksen heikkenemisestä. Jäähdytystä voidaan parantaa ulkopuolisella tuuletuksella, joka pyörii vakionopeudella moottorin nopeudesta riippumatta. Nykyisen moottorin kuormituskäyrästä ei ollut enää saatavilla. Kuormitettavuutta voidaan verrata uudemman sukupolven AXR 450MM6-moottorin kuormituskäyrästään.

Käyrästään on kuvattu moottorin kuormitettavuus käyrällä nom load ja kuormituksen kierrosnopeus vaaka-akselille. Vaaka-akselille on merkitty murskaimen kierrosnopeusalue (1) ja nykyinen kuormitus (2). Nykyisellä kuormituksella ja ajotavalla moottorin minimikierrosnopeus olisi 725 rpm.

Murskaimelle menevä akseliteho nousee nestekytkimen poistuessa. Nestekytkimen hyötysuhde on 70 %, eli akseliteho nousee 30 %. Akselitehon nousu pienentää moottorin ottamaa tehoa. Nykyisen normaalin kuormituksen vääntömomentti on 54 % (2) ja nestekytkimen poistuessa se laskee 35 prosenttiin (3).

Kierroslukualueen alkupäähän jää pieni alue, jossa moottorin kuormitettavuus ylitetään. Kuormituksen ylitys on merkitty vihreällä nuolella (Kuvio 14) Tällä kierrosalueella on viimeisen vuoden aikana ajettu keskimäärin 14 päivää (SSAB 2018). Moottorin kuormituksen ylitys on pieni ja ajopäivät vähäiset.

Edellisten tietojen perusteella murskaimen moottori soveltuu kuormituksen osalta taajuusmuuttajakäyttöön.



Kuvio 14. Oikosulkumoottorin AXR 450MM6 kuormituskäyrä (Mård 2018).

5.3 Taajuusmuuttajan valinta

Taajuusmuuttajan valintaan vaikuttavat useat tekijät: moottorin tehontarve, kuorman momentti, kierrosnopeuden säätöalue, asennuspaikka, jäähdytystapa, ylikuormitustilanteet, huollettavuus, tekninen tuki ja varaosien saatavuus.

Murskaimen moottori on teholtaan 800 kW. Taajuusmuuttaja valitaan moottorin tehon perusteella. Moottorin tyypillinen kierrosnopeuden säätöalue tulee olemaan 550–650 rpm (SSAB 2018).

Taajuusmuuttaja tullaan sijoittamaan koksaamon pääsähkötilaan (ST01). Sähkötilassa on hyvin asennustilaa taajuusmuuttajalle kojeiston Ks 1D:n vieressä.

Taajuusmuuttaja tuo sähkötilaan lisää lämpökuormaa. Lämpökuorma täytyy jäähdyttää tai johtaa pois sähkötilasta. Sähkötilan ilmastoinnin jäähdytysteho on 47 kW (Liite 11).

Mikäli jäähdytysilma johdetaan sähkötilasta ulos, täytyy tuloilmakojeen tuoton olla suurempi kuin taajuusmuuttajan jäähdytysilman kulutus. Nykyisen tuloilma-kojeen tuotto on 4 m³/s (Liite 11).

Taajuusmuuttajavaihtoehtoja kartoitettaessa keskityttiin lähinnä tunnettujen valmistajien taajuusmuuttajatarjontaan. Kahdella valmistajalla oli tarjota taajuusmuuttajaa niin sanottuun retrofit-ratkaisuun, jossa vanhalle moottorille asennetaan taajuusmuuttaja. Vanhalle moottorille taajuusmuuttajaa valittaessa moottorille syötettävän jännitteen ja virran on oltava mahdollisimman sinimuotoista. Vanhan moottorin eristeet eivät kestä suuria virta - ja jännitepiikkejä (Timonen 2017).

Budjettitarjouksia taajuusmuuttajista kysyttiin ABB:ltä ja Siemensiltä. ABB:lla oli tarjota malli ACS2000 (Liite 15) ja Siemensillä Sinamics Perfect Harmony GH180 (Liite 16). Kummatkin mallit ovat ilmajäähdytteisiä. Taajuusmuuttajien teknisiä ominaisuuksia verrattiin taulukossa 1.

Taulukko 1. Taajuusmuuttajamallien ominaisuuksien vertailu.

Taajuusmuuttajien vertailu				
	ABB ACS2000	Siemens Sinamics Perfect Harmony GH180		
Moottorin akseliteho	800	938	kW	
Moottorin virta	92	107,1	A	
Moottorin jännite	6000	6000	V	
Katkaisijan maksimi avautumisaika	75	100	ms	
Leveys*Korkeus*Syvyys	3830*2614*1200	4165*2990*1250	mm	
Paino	4764	6200	kg	
Lämpöhäviö	39	38	kW	
Jäähdytys tapa	ilmakierto	ilmakierto		
Jäähdytys ilman virtaus	3,75	5	m ³ /s	
apusähkö 3~	5,7	8	kVA	
integroitu UPS apusähkölle	kyllä	ei		
ympäristön min. lämpötila	5	5	°C	
ympäristön maks. lämpötila	40	40	°C	

Taajuusmuuttajamallit ovat ominaisuuksiltaan jokseenkin samanlaisia. Siemensiin taajuusmuuttaja on hieman ylimitoitettu ylikuormitustilanteita varten. Murskaimen akseliteho kasvaa nestekytimen poistuessa noin 30 %, mikä vähentää ylikuormituksen tarvetta.

Taajuusmuuttajamallien välillä isoin ero on hinnassa. ABB:n vaihtoehto on edullisempi kuin Siemensin vaihtoehto. Taajuusmuuttajien asennuskustannukset ovat käytännössä samat. Taajuusmuuttajien lämpökuormat ovat hyvin lähellä ilmastoinnin maksimijäähdytystehoa (47 kW). Lämpökuorma täytyy todennäköisesti johtaa sähkötilasta pois, mikäli ilmastoinnin tehoa ei kasvateta. Kumminkin tuloilmakojeen tuottoa täytyy kasvattaa, mikäli lämpö johdetaan sähkötilasta ulos.

Edellisten perusteella valinta on ABB:n tarjoama taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajan elinkaari on 20 vuotta ja sitä voidaan jatkaa huolloilla ja laitepäivityksillä 40 vuoteen (ABB 2016, 91).

Moottorin ohjaustapa pohjautuu suoraan momenttiohjaukseen (Direct Torque Control). Suora momenttiohjaus takaa tarkan nopeuden ja vääntömomentin ohjauksen ilman pulssianturin antamaa nopeustietoa. (ABB 2016, 16.)

Taajuusmuuttajan käyttö- ja huoltokustannukset ovat matalat, koska kaikkia komponentteja pääsee huoltamaan taajuusmuuttajan etupuolelta. Taajuusmuuttaja sisältää vikadiagnostiikkaa, joka valvoo komponenttien kuntoa ja ilmoittaa poikkeavuuksista ilmoituksilla ja hälytyksillä. Huoltamisen helpottamiseksi päävirtapiirin osat ovat rakenteeltaan modulaarisia. (ABB 2016, 18).

5.4 Taajuusmuuttajan suojaus ja parametointi

Taajuusmuuttaja liitetään suoraan murskaimen sähkölähtöön. Katkaisijan sallittu maksimiavautumisaika on 75 ms (ABB 2016, 79) ja katkaisijan mitattu toiminta-aika on 45 ms. Taajuusmuuttajan sisällä on omat sulakkeet syötön suojausta varten (ABB. 2016, 63).

Taajuusmuuttajalle parametroidaan:

- moottorin kilpiarvot
- moottorin nopeuden ohjaustapa
- sovellusparametrit
- ohjaustavat ja makrot. (ABB 2016, 91.)

Taajuusmuuttajan ohjausjärjestelmä valvoo koko ajan kaikkia oleellisia muuttujia. Esiohjelmoidut suojausfunktiot valvovat, että muuttajat pysyvät raja-arvoissaan. Ohjausjärjestelmä muodostaa raja-arvon ylityksiä ja alituksista, joko hälytys- tai häiriöviestin vian vakavuudesta riippuen. (ABB 2016, 60–61.)

Häiriö sammuttaa aina taajuusmuuttajan. Häiriöt on luokiteltu kahteen kategori-
aan; 1 ja 2-luokan häiriöt. 1-luokan häiriö sammuttaa taajuusmuuttajan ja avaa taajuusmuuttajan etukatkaisijan. 2-luokan häiriö sammuttaa taajuusmuuttajan. Häiriöt pitää kuitata manuaalisesti taajuusmuuttajalta. (ABB2016, 60.)

Moottori voidaan suojata taajuusmuuttajan raja-arvovalvonnoilla: virta-, jännite-,
nopeus- ja vääntömomenttivalvonnat. Valvontojen raja-arvot ovat säädettävissä käyttökohteen ja käyttötavan mukaan. (ABB 2016, 62.)

Raja-arvovalvontojen lisäksi seurataan moottorin ylikuormaa, moottorin vaihde-
katkoksia, moottorin jumiutumista, ylinopeutta, ylijännitettä, alijännitettä, oiko-
sulkua DC-kiskostossa, syöttöjännitteen katkeamista, taajuusmuuttajan ylivirtaa
ja taajuusmuuttajan sisäistä oikosulkua. (ABB 2016, 63.)

Murskainkäytössä tärkeimpiä moottorin suojauksia ovat moottorin ylikuorma ja
jumi suoja. Näillä suojataan moottoria ja murskainta, jos murskain tukkeutuu.
Tukkeutumista tapahtuu etenkin silloin kun kivihiiliseos on märkää. Ylikuorma-
valvonta seuraa moottorille syötettyä tehollista 3-vaihevirtaa ja vertaa sitä kol-
meen aseteltavaan valvonta-arvoon (ABB 2016, 62).

Moottorikäytöt suojataan useasti jumiutumiselta. Varsinkin murskainkäyttöissä
murskaimen jumiutuminen on hyvin todennäköistä. Jumiutumistilanteessa
murskain pysähtyy ja moottori yrittää jatkaa pyörimistä.

Taajuusmuuttajalle asetellaan raja-arvot moottorin pyörimisnopeudelle ja vääntömomentille. Kun nopeuden raja-arvo alittuu ja vääntömomentin raja-arvo ylittyy, moottori pysäytetään asetellun ajan kuluttua. (ABB 2016, 62.)

5.5 Huolto ja kunnossapito

Taajuusmuuttajalle suositellaan ennaltaehkäisevää huolto-ohjelmaa (Kuvio 15). Ennaltaehkäisevä huolto vähentää riskiä yllättäviin vikoihin ja lisää taajuusmuuttajan pitoaikaa ja toimintavarmuutta. Ennakoiva huolto pitää sisällään tarkastuksia ja mittauksia taajuusmuuttajan komponenteille, kuten tuulettimille ja liitoksille. (ABB 2013, 1.)

	Years from start-up																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cooling																					
➤ Air filters ¹		I	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
➤ Cooling fan (continuous operation) ²		I	I	P	I	R	I	P	I	R	I	P	I	R	I	P	I	R	I	P	I
➤ Redundant cooling fans ²		I	I	P	I	P	I	P	I	R	I	P	I	P	I	P	I	R	I	P	I
Aging																					
➤ DC Capacitors ³		I	I	I	I	I	I	I	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I
➤ AC Capacitors ⁴		I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
➤ Printed Circuit Boards		-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
➤ UPS Batteries (external to the drive)		I	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I
Connections & Surroundings																					
➤ Fiber optic cables ⁵		-	-	-	-	-	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-	P	-
➤ Cable connections, bolted connections		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
➤ Dustiness, corrosion and temperature		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
Fuses																					
➤ Line-side fuses		I	I	I	I	I	I	I	I	R	I	I	I	I	I	I	I	R	I	I	I
Measurements and tests																					
➤ Measurements with auxiliary voltage		I	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I
➤ Insulation test		-	-	-	-	P	-	-	-	P	-	-	-	P	-	-	-	P	-	-	-
➤ Safety circuits		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Improvements and spare parts																					
➤ Software, hardware upgrades ⁶		I	-	I	-	I	-	I	-	I	-	P	-	I	-	I	-	I	-	I	-
➤ Spare parts		I	-	I	-	P	-	I	-	P	-	I	-	P	-	I	-	P	-	I	-
Legend																					
Replacement of component																		R			
Inspection (visual inspection, correction, and replacement if needed)																		I			
Performance of on-site work (commissioning, tests, measurements, etc.)																		P			
No action																		-			

Kuvio 15. Taajuusmuuttajan huolto-ohjelma. (ABB 2013, 2)

”Sähkölaitteiston haltijan on huolehdittava siitä, että luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille laaditaan sähköturvallisuuden ylläpitävä kunnossapito-ohjelma. Sähkölaitteiston haltija vastaa siitä, että kunnossapito-ohjelmaa noudatetaan. Kunnossapito-ohjelmaa laadittaessa tulee ottaa huomioon sähkölaitteiston käyttöympäristöstä aiheutuvat tarpeet.” (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 3:48 §.)

Ennakoiva huolto-ohjelma täytyy kirjata Arttu-toiminnanohjausjärjestelmään. Näin täytetään sähköturvallisuuslain asettama huolto-ohjelman laadinta ja huolto-ohjelman noudattaminen.

6 TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖN VAATIMAT MUUTOSTYÖT

6.1 6 kV:n kaapelointi

Nykyinen kaapelointi soveltuu taajuusmuuttajakäyttöön. Taajuusmuuttaja on yhteensopiva vanhan moottorikaapelin kanssa (ABB 2016, 17). Nykyinen moottorin syöttökaapeli irrotetaan sähkölähdestä ja käännetään taajuusmuuttajalle. Tarvittaessa kaapelia jatketaan. Taajuusmuuttajan syöttö otetaan murskaimen sähkölähdestä ja tälle välille tulee uusi kaapeli.

6.2 Taajuusmuuttajan sijoitus ja asennus

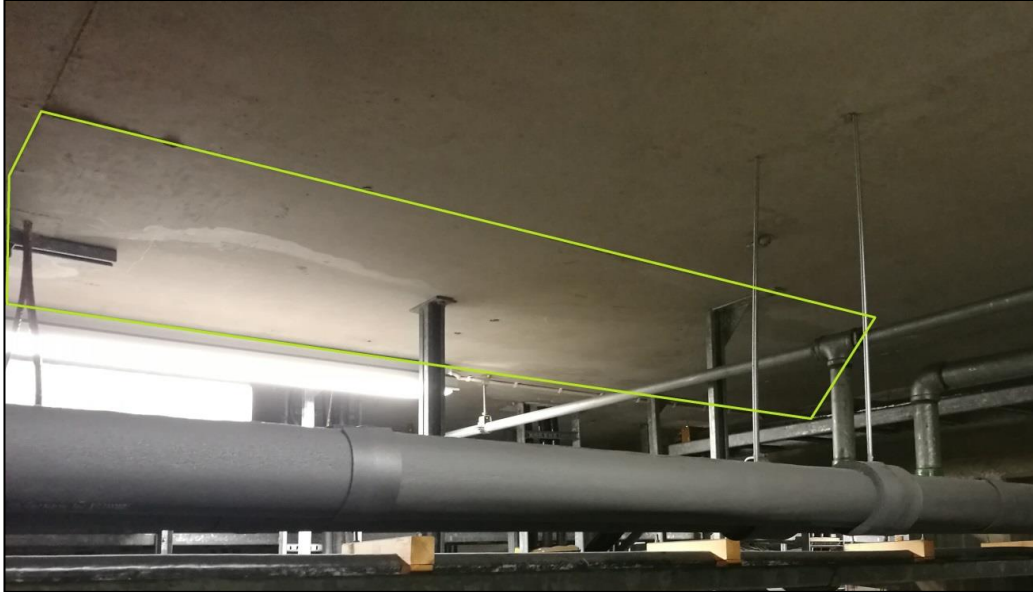
Taajuusmuuttaja sijoitetaan pääsähkötilaan, kojeiston Ks1D:n jatkoksi. Taajuusmuuttaja voidaan sijoittaa joko välittömästi kojeiston viereen tai jättää kojeistolle laajennusvaraa yhdelle lähdölle. Vieressä on kojeisto Ks1C, jossa on paremmin laajennusvaraa. Taajuusmuuttaja sijoitetaan kojeistoon kiinni. Näin jää enemmän tilaa sähkötilan kulkukäytävälle (Kuva 5). Taajuusmuuttajan ääri-
viivat on merkitty lattiaan keltaisella teipillä

Taajuusmuuttajan ja vieressä olevan keskuksen väliin jää 1,3 metrin levyinen kulkukäytävä. Sähkötilan perällä olevat sähkökeskukset ja taajuusmuuttajat ovat pääsääntöisesti 60 cm syviä.



Kuva 5. Taajuusmuuttajan sijoituspaikka sähkötilassa.

Syöttö- ja ohjauskaapelit menevät taajuusmuuttajalle alakautta. Kaapelikellarissa on hyvin tilaa (Kuva 6) uusille läpivienneille. Läpimenoireiät porataan taajuusmuuttajan asennuksen yhteydessä.



Kuva 6. Suunnitellun taajuusmuuttajan alapuolinen tila kaapelikellarissa.

6.3 Akselin murtosuojaja

Akselin murtosuojana toimii tällä hetkellä nestekytkin. Nestekytkimen poistues-
sa täytyy akseli ja alennusvaihteisto suojata toisen tyyppisellä suojalla. Murs-
kaimen akseleissa on tällä hetkellä hammaskytkimet vääntömomentin välittäji-
nä. Uusi vääntömomenttia rajoittava kytkin asennetaan olemassa oleviin ham-
maskytkimiin.

Kytkimet ovat akseleiden päihin sijoitettuja vääntömomenttia siirtäviä ko-
neenelimiä. Kytkimet toimivat myös erilaisten voimansiirtolaitteistojen kuten hih-
nakäyttöjen, hammaspyörien tai jarrujen yhteen liittämistä ja irrotusta varten.
(Blom ym. 2006, 288.)

Kytkimellä on monta eri tehtävää käyttötarpeen mukaan, kuten vääntömomentin
siirto, akseleiden asemavirheiden eliminointi, ylikuormituksen estäminen ja
kuormitusiskujen pienentäminen. (Blom ym. 2006, 289.)

Kytkintyyppejä ovat:

- kiinteät kytkimet
- joustavat (ei säädettävät) kytkimet

- ylikuorma- ja irrotuskytkimet
- käynnistyskytkimet
- suunta- eli vapaakytkimet. (Blom ym. 2006, 288.)

Nestekytken korvaajaksi parhaiten edellä mainituista soveltuu ylikuormakytken. Kytkin rajoittaa akselille muodostuvaa vääntömomenttia ja vapauttaa akselin päät toisistaan, mikäli aseteltu maksimivääntömomentti ylittyy (Blom ym. 2006, 291).

Ylikuormakytkeimet ovat usein standardituotteita ja niiden mitoitusohjeet annetaan kytkimien esitteissä. Normaalisti kytkin mitoitetaan siten, että käyttökoneiston nimellistehon ja pyörimisnopeuden avulla laskettu vääntömomentti kerrotaan sysäyskerroimella K_a . Saatua arvoa verrataan kytkimen sallittuun vääntömomentin arvoon. (Blom ym. 2006, 294.)

Murskaimen sähkömoottorin nimellinen teho on 800 kW ja normaali pyörimisnopeus 650 kierrosta minuutissa. Sysäyskerroin K_a voidaan valita taulukosta, kun tiedetään kuormituksen tyyppi ja käyttömoottori. Sähkömoottorilla ja iskumaisella kuormituksella sysäyskerroin on 1,6-2,0.

$$T_{nim} = \frac{P}{2\pi \cdot \frac{n}{60}} \quad (3)$$

missä

P on Moottorin teho [w]

n on Moottorin pyörimisnopeus [rpm]

Moottorin vääntömomentiksi saatiin kaavalla (3) 11765 Nm. Seuraavaksi lasketaan kaavalla (4) sysäyskerroininen vääntömomentti. K_a arvona käytettiin lukua 1,8. Arvoksi saatiin 21177 Nm.

$$T_{lask} = T_{nim} * K_a \quad (4)$$

missä

T_{lask}	on	Laskennallinen vääntömomentti [Nm]
T_{nim}	on	käytön nimellinen vääntömomentti [Nm]
K_a	on	sysäyskerroin

Raahan tehtaan valssaamolla on käytössä vapauttavia ylikuormakytkimiä. Kytkimet ovat Voithin toimittamia ja malliltaan Safeset. Ne ovat käytössä valssimoottorin ja vaihdelaatikon välissä. Kytkimistä on ollut käytössä hyviä kokemuksia. (Ylikauppila 2018.)

Murskaimella vapauttava kuormakytkin voi aiheuttaa ongelmia. Kytkimen vapautuessa murskaimen pyöriminen loppuu, mutta hiilen syöttäminen jatkuu hetken aikaa. Murskaimelle kerkeää tuona aikana kerääntyä hiiltä, joka täytyy poistaa ennen murskaimen uudelleen käynnistämistä.

Kytkimen vapautumista täytyy valvoa, jotta vältetään murskaimen tukkeutumiselta kytkimen vapautuessa. Pyörimisnopeutta pitää valvoa kytkimen sisäänmenosta ja ulostulosta. Pyörimisnopeutta voidaan valvoa esimerkiksi pulssiantureilla. Pulssiantureiden pulssitieto viedään automaatiojärjestelmään, jossa niitä verrataan toisiinsa. Pulssitietojen poiketessa toisistaan on kytkin vapautunut. Kytkimen vapautuessa pysäytetään hiilensyöttökuljettimet ja taajuusmuuttaja.

Kytkimen toiminta-alue on 10–25,2 kNm (Liite 17). Kytkimen toiminta-alue on hyvä valita niin, että laskettu vääntömomentti T_{lask} sijoittuu keskivaiheille momenttialuetta. Näin voidaan säätää kytkimen toiminta-aluetta tarvittaessa.

Kytkimen tarjouksessa (Liite 18) tarjottiin liitteen 17 mukainen Voith Safeset-kokoonpano, jossa on mukana myös hammaskytkimet.

6.4 Taajuusmuuttajan liittäminen automaatioon

Murskainta ohjataan PCS7 automaatiojärjestelmällä. Taajuusmuuttajan liittämiseksi automaatiojärjestelmään tulee ohjelmaan ja kaapelointeihin tehdä tarvittavat muutokset. Automaatiojärjestelmän ohjauskaapit sijaitsevat samassa sähkötilassa asennettavan taajuusmuuttajan kanssa. Ohjauskaapelointien keski-

määräinen pituus on 40 metriä. Ohjauskaapelina käytetään armeerattua jamak-tyyppistä kaapelia ja apusähkön syöttökaapelina Ölflex 110 CY-tyypin kaapelia. Arvio sähköasennuksien hinnasta tehtiin yksikkö hinnaston perusteella (Liite 12).

Arvioitu ohjelmointityön tuntimäärä on 40 h (Puroila 2018). Arvio sisältää muutokset ja ohjelman testaukset. Ohjelmointityön tarkempi hinta on esitetty liitteessä 13.

6.5 Sähkösuunnitelma

Sähkösuunnitelma sisältää taajuusmuuttajan lisäämiseen liittyvien dokumenttien teon. Sähkösuunnittelussa työstä tehdään asennusmappi, joka sisältää työn dokumentit. Sähkösuunnittelun tunti-arvio on 64 h (Puroila 2018). Sähkösuunnittelun tarkempi hinta on esitetty liitteessä 13.

6.6 Varmennustarkastus

Taajuusmuuttaja kuuluu luokan 2 sähkölaitteistoon, koska sen käyttöjännite on yli 1000 voltia (Säihköturvallisuuslaki 1135/2016 3:44 §). Luokan 2 sähkölaitteistolle on tehtävä varmennustarkastus (Säihköturvallisuuslaki 1135/2016 3:45 §). ”Varmennustarkastus on tehtävä ennen sähkölaitteiston ottamista varsinaiseen käyttötarkoitukseen tai tietyn ajan kuluessa sen jälkeen (Säihköturvallisuuslaki 1135/2016 3:46 §)”. Varmennustarkastus ei aiheuta merkittäviä kustannuksia, koska SSAB Europella on oman työn varmennusoikeus.

[illegible]

8 KANNATTAVUUSTARKASTELU

Jotta investointi on kannattava tehdä, täytyy sen maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuajan laskentaa varten tehtiin kannattavuustarkastelu, jossa laskettiin takaisinmaksuaika. Kannattavuustarkastelu tehtiin nettotuottoperiaatteella. Nettotuotoiksi laskettiin kaikki investoinnin tuomat vuotuiset säästöt ja investointikustannuksiin kaikki kustannukset. Investointikustannukset jaettiin nettotuotoilla ja tuloksena saatiin takaisinmaksuaika vuosina.

Nettotuotoiksi laskettiin nestekytkimen kunnossapito- ja energiakustannuksista saatavat säästöt. Energiasäästöt ovat esitetty liitteessä 7 ja kunnossapitokustannukset liitteessä 4. Yhteenveto investointikustannuksista on esitetty liitteessä 13. Investoinnin takaisinmaksuajaksi saatiin 2 vuotta ja 8 kuukautta

Taajuusmuuttajakäytöllä saadaan parannettua murskaimen kierrosnopeuden säätötarkkuutta. Murskaimen kierrosnopeudella on suora verrannollisuus kivihiilen raekokoon.

Investoinnin takaisinmaksuajan laskentatarkkuuteen vaikuttavat nettotuottojen ja investointikustannusten paikkansapitävyys. Nettotuotoiksi laskettiin nestekytkimen kunnossapito- ja energiakustannukset. Kunnossapito- ja energiakustannuksia ei voida ennustaa kovin pitkälle tulevaisuuteen.

Kunnossapitokulut haettiin Arttu-toiminnanohjausjärjestelmästä laitepaikoittain. Kunnossapitokulujen paikkansapitävyyteen vaikuttaa se, ovatko kunnossapitokulut kirjautuneet oikeille laitepaikoille.

Nestekytkimen energiakustannukset laskettiin lämpötilamittausten ja öljyn virtaustiedon perusteella. Mittausten perusteella laskettu hyötysuhde on 0,7. Yleisesti ottaen samantyyppisten nestekytkimien hyötysuhde on 0,5 luokkaa (Veteläinen 2018).

Investoinnin kustannukset kartoitettiin budjettitarjouksilla. Tarjouksien hinnat voivat tarkentua, mikäli niitä kilpailutettaisiin. Tämä laskee investoinnin todellista takaisinmaksuaikaa.

9 POHDINTA

Työn tavoitteena oli selvittää murskaimen sähkökäytön modernisoinnin kannattavuus. Kannattavuustarkastelua varten selvitettiin nykyisen käytön ja investoinnin kustannukset. Kannattavuustarkastelu tehtiin nettotuottoperiaatteella. Takaisinmaksuajaksi investoinnille tuli 2 vuotta ja 8 kuukautta, joka on järkevä investoinnin takaisinmaksuaika.

Murskaimen nykyisten kunnossapito- ja energiakustannusten selvittäminen vaati monipuolista tutkimista. Kunnossapitokulut selvitettiin Arttu-toiminnanohjausjärjestelmästä. Kulujen hakeminen vaatii laitepaikkatuntemusta, jotta ne tulevat oikein. Kunnossapitokulut haettiin tarkastelua varten takautuvasti viideltä vuodelta, jotta saatiin laskettua nestekytkimen toteutuneet kunnossapitokulut mahdollisimman tarkasti.

Energiakustannukset mitattiin murskaimen sähkölähdöstä ja nestekytkimen jäähdytysöljyn lämpövirrasta. Kannattavuustarkasteluun käytettiin vain nestekytkimen lämpöhävikkiä. Periaatteessa murskaimen sähköenergian mittaaminen olisi voitu jättää tekemättä, koska sitä tietoa ei käytetty kannattavuustarkastelussa. Mittaustuloksesta saatiin kumminkin tietoon murskaimen käyntiaste ja normaalin kuormituksen teho.

Työn tuloksena saatiin tilaajan käyttöön kannattavuustarkastelu, jossa on selvitetty nykyisen käytön kulut ja investoinnin tuotot. Kannattavuustarkastelun pohjalta voidaan tehdä investointiesitys.

Työtä tehdessä tuli ilmi muitakin vaihtoehtoja, joilla modernisointi voidaan tehdä. Nestekytkimen poisjättäminen nostaa murskaimelle menevää akselitehoa, joten moottorikokoa voitaisiin hieman pienentää. Myös uusien nestekytkimien hyötysuhteet ovat varsin hyviä, joten nestekytkimen uusiminenkin toisi energiasäästöjä.

Työssä tarkasteltiin vain taajuusmuuttajan lisäämistä. Vaihtoehtoisesti voidaan uusia myös moottori taajuusmuuttajan lisäämisen yhteydessä. Näin tehtäessä voitaisiin nykyinen moottori huoltaa varamoottoriksi. Moottoreita voitaisiin kier-

rättää huoltojen yhteydessä. Varastossa olisi aina huollettu varamoottori. Varalla oleva moottori lyhentää murskaimen huoltoseisakin kestoaikaa.

Investoinnin suoritusajankohta vaikuttaa investoinnin kustannuksiin. Laitteiden hinnat voivat muuttua. Myös kunnossapito- ja energiakustannukset muuttuvat vuosittain.

LÄHTEET

ABB 2001. Tekninen opas nro 4, Säädettyjen sähkökäyttöjen opas. Helsinki: ABB Industry Oy

ABB 2013. ACS2000 Preventive Maintenance Web.pdf 2013. New Berlin: Drive Services. Viitattu 31.01.2018.
https://library.e.abb.com/public/a4fcedd18922186c85257c2d004ed8b8/ACS2000_Preventive_Maintenance_Web.pdf

ABB Beijing Drive Systems Company Ltd. 2016. ACS2000 Technical Catalog. Beijing.

ABB Oy Service 2014. MACHsense-P Värähtely, virrat ja jännitteet PDF.

Aura, L., Tonteri, A.J. & Söderström, W. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. 1. painos. Porvoo: WSOY.

Blom, S., Lahtinen, P., Nuutio, E., Pekkola, K., Pyy, S., Rautiainen, H., Sampo, A., Seppänen, P. & Suorsa, E. 2006. Koneenelimet ja mekanismit. 5.-6. painos. Helsinki. Edita Prima Oy

Hietalahti, L. 2013a. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1 painos. Tampere: Amk kustannus Oy Tammertekniikka

Hietalahti, L. 2013b. Teollisuuden sähkökäytöt. 1. painos. Tampere: Amk-kustannus Oy Tammertekniikka

Kinnunen, J. 2014, ABB:n moottorikoulutusmateriaali_10 2014.pdf. ABB Kotimaanmyynti 2014. Viitattu 15.02.2018,
http://cna.mamk.fi/Public/FJAK/YAMK/Sahkokaytto/Materiaalit/ABBn%20moottorikoulutusmateriaali_10%202014.pdf

Kronqvist, K. 2017. Mobil ATF 220 tekniset arvot. Sähköposti Eero.tabell@ssab.com 4.11.2017

Ruohonen, J. 2017. ABB Oy. Huoltoinsinöörin haastattelu. 19.10.2017

SSAB 2017a. Arttu-järjestelmä. Viitattu 7.11.2017

SSAB 2017b. History. Viitattu 24.08.2017 <http://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti/history>.

SSAB 2017c. Liiketoiminta. Viitattu 24.08.2017 <http://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/liiketoiminta>.

SSAB 2017d. SSAB lyhyesti. Viitattu 23.08.2017 <http://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti>.

SSAB 2017e. Visio- arvot ja strategia. Viitattu 24.08.2017
<http://www.ssab.fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/visio-arvot-ja-strategia>.

SSAB 2017f. Yrityksen sisäinen Intranet. Viitattu 25.11.2017

SSAB 2018. Wedge-järjestelmä. Viitattu 21.02.2018

Sähköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135.

Timonen, J. 2017. ABB Oy. Huoltoinsinöörin haastattelu. 09.12.2017

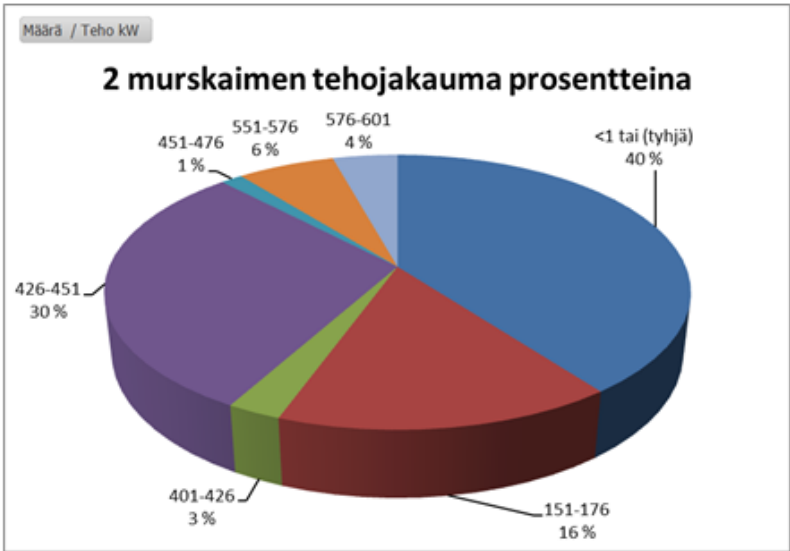
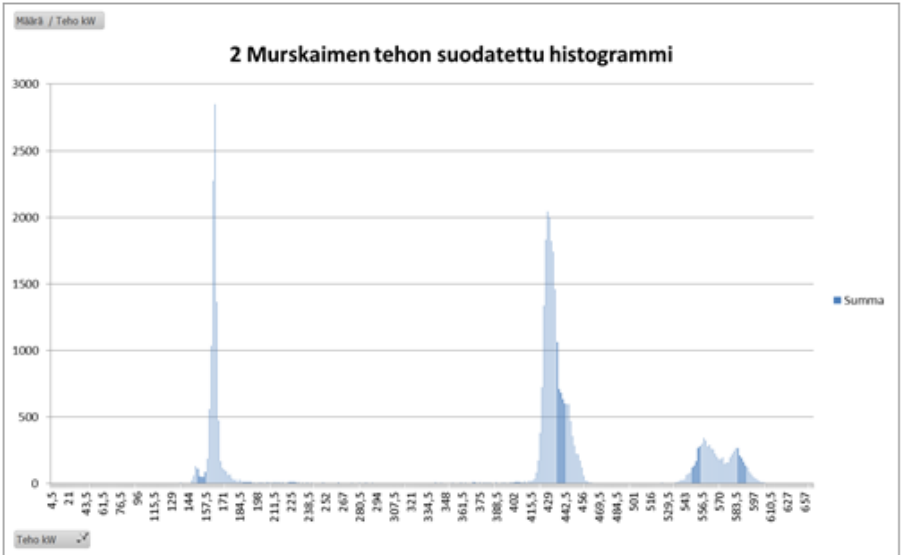
Veteläinen, P. 2018. SSAB Europe. Koksaamon mekaanisen kunnossapidon työnjohtajan haastattelu. 22.01.2018

Virtanen, J. 2018. Mittausraportti 4778

Ylikauppila, J. 2018. SSAB Europe. Kehitysinsinöörin haastattelu. 22.01.2018

LIITTEET

- Liite 1. Kojeiston Ks 1D pääkaavio (luottamuksellinen)
- Liite 2. Nestekytkeimen kokoonpanokuva (luottamuksellinen)
- Liite 3. Kivihiilimurskaimen kokoonpanokuva (luottamuksellinen)
- Liite 4. Murskaimen huolto – ja kunnossapitokustannukset (luottamuksellinen)
- Liite 5. Murskaimen tehon histogrammeja
- Liite 6 Mobil ATF 220 tekniset tiedot
- Liite 7 Murskaimen vuotuinen energian kulutus (luottamuksellinen)
- Liite 8 Katkaisijan koskettimien yhdenaikaisuusmittauksen raportti
- Liite 9 Alennusvaihteiston kokoonpanokuva (luottamuksellinen)
- Liite 10 MACHSense-P mittausraportin yhteenvetosivu
- Liite 11 Sähkötilan ilmastoinnin PI kaavio
- Liite 12 Sähköasennuksien kustannukset (luottamuksellinen)
- Liite 13 Investoinnin kannattavuustarkastelu (luottamuksellinen)
- Liite 14 Sähkömoottorin TanD ja PD – mittauksen yhteenveto
- Liite 15 ABB ACS2000 taajuusmuuttaja tarjous (Luottamuksellinen)
- Liite 16 Siemens Sinamics Perfect Harmony GH180 tarjous (Luottamuksellinen)
- Liite 17 Voith Safeset kytkimen tarjous (Luottamuksellinen)
- Liite 18 Safeset Kytkimen kokoonpanokuva



Mobil ATF 220					
Temperature	✓ Kinematic viscosity	✓ Density	✓ Thermal conductivity	✓ Specific heat capacity	✓ Dynamic viscosity
t	ν	d	λ	cp	η
[°C]	[mm ² /s]	[g/cm ³]	[W/(K.m)]	[kJ/(kg.K)]	[mPas]
0	293.78	0.8784	0.13506	1.8059	258.06
10	155.65	0.8728	0.13433	1.8422	135.85
20	90.04	0.8672	0.13361	1.8786	78.08
30	56.00	0.8617	0.13289	1.9149	48.26
40	37.00	0.8563	0.13216	1.9513	31.68
50	25.71	0.8509	0.13144	1.9876	21.88
60	18.64	0.8456	0.13071	2.0240	15.76
70	14.00	0.8404	0.12999	2.0604	11.77
80	10.84	0.8353	0.12926	2.0967	9.06
90	8.62	0.8302	0.12854	2.1331	7.15
100	7.00	0.8251	0.12782	2.1694	5.78
110	5.80	0.8201	0.12709	2.2058	4.75
120	4.88	0.8152	0.12637	2.2421	3.98
130	4.17	0.8104	0.12564	2.2785	3.38
140	3.61	0.8056	0.12492	2.3148	2.91
150	3.16	0.8008	0.12420	2.3512	2.53

EGIL
SA-81200 R02A02 U000
SA-81210 R02A02 U000

TEST REPORT

Page: 1()

Date: _____
Session: 2

1. BREAKER DATA

Station:	Line/Compartment:
Breaker ID:	Serial number:
Manufacturer:	Breaker type:

2. TEST DATA

Type of test:	Operator:
Company name:	Reference:

3. COMMENTS

4. GENERAL TEST CONDITIONS

Sequence: OCO

Measuring time: 5s

Time base: seconds

Pulse	Length	Delay
Open	0.50s	
Close	0.50s	1.00s
Open	0.50s	1.00s

6. TIMING RESULTS

L1, L2, L3: Phase 1, 2 and 3, Main contacts
X1, X2: Auxiliary contact 1 and 2
Presented events:
Initial contact touch at closure and final contact separation at opening
Opening bounces < 10ns are suppressed

L1	L2	L3
45.0ns Open 1.2425s Close 2.0440s Open	45.0ns Open 1.2420s Close 2.0440s Open	45.0ns Open 1.2420s Close 2.0445s Open

X1	X2
53.5ns Close 1.2275s Open 2.0525s Close	

Timing calculations

Page: 2()

Parameter/Phase	L1	L2	L3
Opening Time 1	45.0ns	45.0ns	45.0ns
Closing Time	1.2425s	1.2420s	1.2420s
Opening Time 2	2.0440s	2.0440s	2.0445s
Time O-C (Dead time)	1.1975s		
Time C-O (On time)	002.0ms		

Difference between phases


Opening Time 1	0.0ns
Closing Time	0.5ms
Opening Time 2	0.5ms


7. GRAPH


L1, L2, L3: Phase 1, 2 and 3, Main contacts
X1, X2: Auxiliary contact 1 and 2
I: Current -100mA Scale: 100mA/d 1.100A


Final					B	
MACHsense-P mittaustulokset					2017-11-22	4(9)





Allaolevassa taulukossa käytetyt naamat tarkoittavat:

 tätä osa-aluetta ei ole mitattu tai mittaustulokset ovat vajavaisia tai käyttökelvottomia. Esimerkiksi kyseessä voi olla taajuusmuuttajakäyttö ja taajuusmuuttajan moottorille syöttämän sähkönsäädin laadulle ei ole olemassa standardeja.

 kohteessa ei näiltä osin ole huomautettavaa

 kohdetta kannattaa jatkossa tarkkailla näiltä osin

 nämä osuudet vaativat tarkempaa selvitystä

Kohde	Sähkön-syöttö	Roottori	Laakerointi	Asennus	Suositus	
Koksaamon moottori					6 kertaa pyörimistaajuisten iskujen tason ja laakerien väljyyden seuranta. MACHsense-P Mittaus vuoden kuluessa, huollot valmistajan ohjeiden mukaan	Merkittävä 6 x pyörimisnopeuden iskutaajuus

2 Yleistä MACHsense-P analyysistä

MACHsense-P mittaus ja analyysi on pohjimmiltaan ongelmien analysointityökalu. Jos ongelmia ei löydy, niin tuloraportti sanoo, että ongelmia ei löytynyt. Moottorin kunnosta se ei kerro mitään muuta kuin se, että nyt ei ongelmia löytynyt mittausten perusteella. Mitään ennustetta ei analyysillä saada. Kohde voi hajota huomenna tai 50 vuoden päästä.

Toistuvilla MACHsense-P mittauksilla voidaan päästä kiinni hitaasti muuttuviin ilmiöihin. Mutta silloinkin ongelmana on se, ovatko mittaustilanteet (kuuminen, pyörimisnopeus, ympäristöolosuhteet, tms.) samanlaisia keskenään. Ja jos löydetään jokin hitaasti muuttuva (kuukausia, vuosia) ilmiö, voidaan ehkä kolmen tai useamman mittauksen jälkeen voidaan ehkä antaa jonkinlainen arvio tulevaisuudesta.

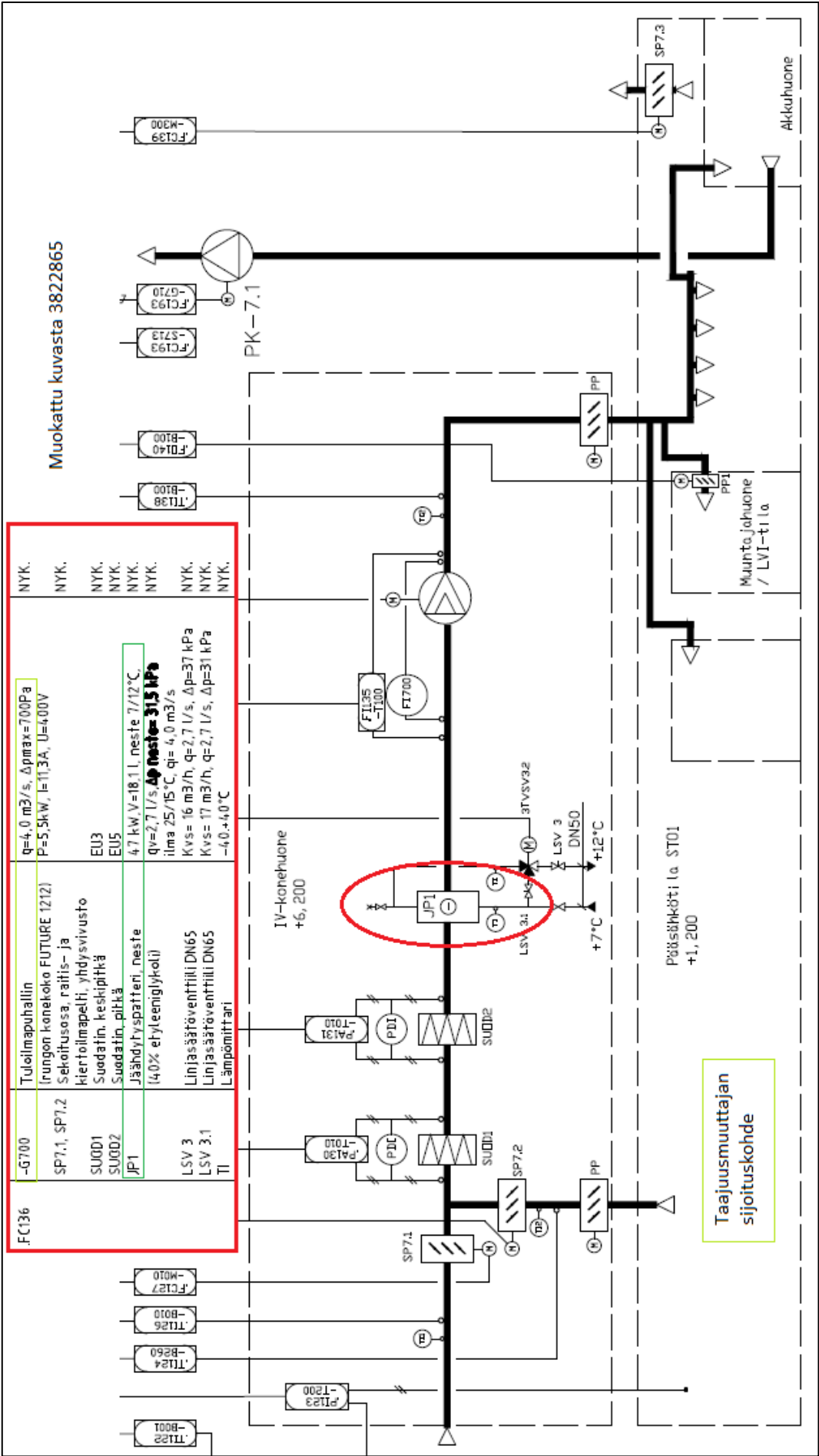
2.1 MACHsense-P analyysin rajoitukset

Taajuusmuuttajien moottorille syöttämälle sähkölle ei ole toistaiseksi minkäänlaisia yleisiä (standardoituja) laatuksiteoreita. Joitain yleisesti hyväksyttyjä laatuominaisuuksia on kuten esimerkiksi vaihevirtojen ja -jännitteiden symmetrisyys. Mutta siihenkään ei ole määriteltyä raja-arvoja.

Roottorianalyysi toimii ainoastaan vakionopeuksisilla epätahtimoottoreilla. Taajuusmuuttajakäytöllä virran vääristyminen sinimuotoisesta heikentää analyysiä merkittävästi. Yleisesti ottaen virran ja jännitteen poikkeaminen sinimuotoisesta heikentää analyysiä merkittävästi ja vakionopeuksisilla suorakäytöllä (ns. DOL käyttö) virran tai jännitteen poikkeaminen sinimuotoisesta on jo sinänsä vika.

Tahtikoneiden roottoreille ei MACHsense-P analyysillä saada suoraan kuntoarviota/vika-analyysiä, mutta käytännössä on osoittautunut, että analyysissä näkyy jotain tunnistamatonta häikää, jos roottori ei toimi kunnolla. (Tässäkin virran ja jännitteen sinimuotoisuus on kriittistä.)

We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure to third parties without express authority is strictly forbidden.
©Copyright 2017 ABB






Mittausraportti	Valmis	Raportti 4778	A
Tanδ-mittaus sekä PD –mittaus koneelle 4544910, 20.12.2017, SSAB, Raahе		04.01.2018	2(9)

3 Yhteenveto

Eristys on ikäänsä nähden erittäin hyväkuntoinen ja eristyksen mitatut häviöt ovat hyvin matalat. Pääeristyksen delaminoituminen on alkanut, mutta delaminoituminen on hyvin hidas prosessi. Käämityksen tiukkuus uriin on mittauksen perusteella hyvä, ja uran hohtosuojanauha toimii erinomaisesti.

Käämitys olisi hyvä puhdistaa huolellisesti seuraavan huoltoseisokin yhteydessä. Samalla urienpäissä mahdollisesti löytyvät osittaispurkausjäljet kannattaa huoltaa puolijohtavalla maalilla. Eristyksen kulumisen näkyy mittauksissa, mutta eristyksellä on vielä erittäin runsaasti käyttöikää jäljellä.

Eristyksen kunto	Kommentit	
Uran hohtosuoja 	Uran hohtosuojanauha toimii hyvin ja nauhan kontakti uraan ja pääeristykseen on erinomainen.	
Puolijohtavat elektrodit	Tässä eristysrakenteessa ei käytetä puolijohtavia elektrodeja.	
Pääeristyksen delaminoituminen 	Pääeristyksen alkava delaminoituminen näkyy mittauksessa. Delaminoituminen on kuitenkin hyvin hidas prosessi ja se on vasta alkuvaiheessa.	
Yleisarvio 	Pääeristyksen kulumisen näkyy mittauksissa, mutta ikäänsä nähden eristys on erittäin hyvässä kunnossa.	

